



**TUGAS AKHIR - MM 091381**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLUX* DOLOMITE PADA  
PROSES *CONVERTING* PADA TEMBAGA *MATTE*  
MENJADI *BLISTER***

Girindra Abhilasa  
NRP. 2710 100 096

Dosen Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2014

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - MM 091381**

**THE EFFECT OF DOLOMITE FLUX ADDITION FOR  
CONVERTING PROCESS OF COPPER MATTE TO  
BLISTER**

Girindra Abhilasa  
NRP. 2710 100 096

Advisor :  
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Department of Material And Metallurgy Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2014

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PROPOSAL TUGAS AKHIR**  
**PENGARUH PENAMBAHAN *FLUX* DOLOMITE PADA**  
**PROSES *CONVERTING* PADA TEMBAGA *MATTE***  
**MENJADI *BLISTER***

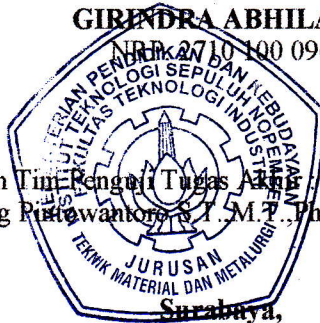
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metallurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**GIRENDRA ABHILASA**

NRP 2710100096



Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Sungging Pustawantoro, S.T., M.T., Ph.D..... (Pembimbing)

Surabaya,  
Juli 2014

# PENGARUH PENAMBAHAN FLUX DOLOMITE PADA PROSES CONVERTING PADA TEMBAGA MATTE MENJADI BLISTER

Nama Mahasiswa : Girindra Abhilasa  
NRP : 2710100096  
Dosen Pembimbing : Sungging Pintowantoro S.T., M.T.,  
Ph.D.

## ABSTRAK

Penelitian ini merupakan proses pemurnian lanjut tembaga matte dari *smelting blast furnace* pada metode pirometalurgi. *Converting* pada penelitian ini merupakan proses oksidasi tembaga matte dan logam tembaga yang masih memiliki pengotor dengan peniupan oksigen dan penambahan flux. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan flux dolomite terhadap kemurnian tembaga blister dan slagnya. Penambahan flux dilakukan dengan variasi rasio CaO:Fe (jumlah penambahan kapur) yaitu sebesar 1:8 (34,33g), 1:5 (54,94g), 1:3 (116,7g), dan tanpa penambahan kapur sebagai pembanding. Proses converting dilakukan dengan debit udara 12 liter/menit selama 10 menit. Produk tembaga blister dan slag diuji XRF dan XRD untuk mengetahui kadar komposisi Cu, Fe, S dan senyawa yang terbentuk. Hasil dari penelitian didapatkan kadar Cu yang paling baik adalah dengan penambahan kapur hingga memiliki rasio 1:3. Kadar Cu pada slag memiliki komposisi paling rendah dengan rasio 1:3.

Kata kunci : *converting, flux dolomite, tembaga matte, tembaga blister*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## *EFFECT OF DOLOMITE FLUX ADDITION IN CONVERTING PROCESS IN MATTE COPPER TO BLISTER*

Name : Girindra Abhilasa  
NRP : 2710100096  
Lecturer : Sungging Pintowantoro S.T., M.T.,  
Ph.D.

### *ABSTRACT*

*This research is a further refining process of copper matte from smelting blast furnace in pyrometallurgy. Converting in this research is a oxidation of copper matte and copper that still has impurities with blowing oxygen and flux addition. This research is aimed to study some effects for purity of copper matte and its slag by adding  $\text{CaCO}_3$  flux. Added flux are determined by  $\text{CaO}:\text{Fe}$  ratio.  $\text{CaO}:\text{Fe}$  ratio (adding Dolomite) in this research are 1:8 (34,33g), 1:5 (54,94g), 1:3 (116,7g), and without flux addition for comparison. This converting process is using 9 litre/minutes of blowing oxygen for 10 minutes. The product from this process, copper blister and slag, is examined by XRF and XRD to study Cu, Fe, and S composition and its compounds. The result of this research is the highest composition of Cu by adding lime in 1:3 ratio. In this ratio, the slag has the less of Cu losses in slag.*

Keywords : *converting,  $\text{CaCO}_3$  flux, copper matte, copper blister*



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan berkat rahmat, taufiq serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan proyek tugas akhir ini dengan judul :

### **PENGARUH PENAMBAHAN FLUKS DOLOMITE PADA PROSES CONVERTING PADA TEMBAGA MATTE MENJADI BLISTER**

Dalam penyelesaian proyek tugas akhir ini penulis berpegang pada teori yang pernah penulis dapatkan dan hasil bimbingan dari pembimbing tugas akhir, serta pihak-pihak yang membantu sampai terselesaikannya proyek tugas akhir ini.

Proyek tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya sebagai wujud nyata dan implementasi ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga penulisan buku tugas akhir ini selesai. Penulis menyadari bahwa hasil dari proyek tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki dan dibenahi. Oleh karena itu kritik dan saran senantiasa penulis harapkan untuk kemajuan di masa yang akan datang. Atas segala kekurangan penulis mohon maaf dan semoga yang telah ada ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, 20 Juli 2014

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	2
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tembaga.....	5
2.2. Mineral Tembaga .....	6
2.3. Batu Kapur .....	8
2.4. Pengolahan Tembaga secara Pirometalurgi .....	9
2.4.1. Benefikasi .....	10
2.4.2. Roasting .....	12
2.4.3. Smelting .....	12
2.4.4. Converting .....	13
2.5. Tembaga Matte .....	14
2.6. Converting dengan Penambahan Dolomite.....	17
2.7. Slag Hasil Converting .....	17
2.8. Tembaga dalam Slag.....	21
2.9. Desulfurisasi.....	22
2.10. Termodinamika pada Proses Converting .....	23
2.11. Stoikiometri.....	26
2.12. Kajian Penelitian Sebelumnya .....	27

### **BAB III METODOLOGI**

3.1. Diagram Alir .....	29
3.2. Peralatan dan Bahan .....	30
3.2.1. Peralatan Penelitian .....	30
3.2.2. Bahan .....	34
3.3. Rancangan Penelitian .....	35
3.4. Pelaksanaan Penelitian .....	36

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Proses Converting Logam Tembaga dan Matte dengan Penambahan Flux Dolomite .....	39
4.2. Karakterisasi Logam Tembaga dan Matte .....	40
4.3. Pengaruh Penambahan Dolomite terhadap Peningkatan Kadar Cu pada Tembaga Blister .....	43
4.4. Pengaruh Jumlah Penambahan Dolomite terhadap Komposisi Slag .....	48

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	57
5.2. Saran .....	58

### **DAFTAR PUSTAKA .....xviii**

### **LAMPIRAN .....59**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Tembaga .....	5
Tabel 2.2 Penggunaan Sifat-Sifat Tembaga .....	6
Tabel 2.3 Jenis-jenis Mineral Tembaga .....	7
Tabel 2.4 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa.....	25
Tabel 2.5 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	27
Tabel 3.1 Komposisi Cu, Fe, dan S pada Matte .....	34
Tabel 3.2 Komposisi Cu, Fe, dan S Logam Tembaga .....	34
Tabel 3.3 Rancangan Studi Pengaruh Jumlah Penambahan dolomite (dalam rasio) terhadap Hasil proses Converting.....	36
Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Logam Tembaga dan Matte Unsur Cu, Fe, dan S.....	41
Tabel 4.2 Daftar Fase yang Terbentuk pada Logam, Tembaga dan Matte.....	43
Tabel 4.3 Hasil Uji XRF unsur Cu, Fe, dan S dengan Variasi Komposisi Penambahan dolomite pada Tembaga Blister .....	43
Tabel 4.4 Daftar fase tembaga blister hasil uji XRD .....	48
Tabel 4.5 Hasil uji XRF unsur Cu, Fe, dan S dengan variasi komposisi penambahan dolomite pada slag .....	48
Tabel 4.6 Daftar Fase yang terbentuk pada slag .....	51

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Persebaran Mineral Tembaga yang Ada di Indonesia .....	8
Gambar 2.2 FlowSheet Pengolahan Bijih Tembaga .....	11
Gambar 2.3 Skema Muffle Furnace.....	13
Gambar 2.4 Diagram Fase Cu-S .....	15
Gambar 2.5 Diagram Ternary Tembaga Matte.....	16
Gambar 2.6 Matte Hasil Mini Blast Furnace Institut Teknologi Sepuluh Nopember .....	16
Gambar 2.7 Efek Oksida Basa pada Struktur Silika Poli-Ion dalam Lelehan Slag .....	18
Gambar 2.8 Diagram Fasa Ternary Slag FeO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> ....	19
Gambar 2.9 Diagram Keseimbangan Ternary FeO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO/SiO <sub>2</sub> .....	20
Gambar 2.10 Diagram Keseimbangan Ternary CaO-SiO <sub>2</sub> -FeO pada temperatur 1150°C – 1250°C .....	21
Gambar 2.11 Diagram Ellingham .....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	30
Gambar 3.2 Palu Batu.....	31
Gambar 3.3 Obeng.....	31
Gambar 3.4 Termometer Infrared .....	31
Gambar 3.5 Muffle Furnace.....	31
Gambar 3.6 Mesin Uji XRD .....	32
Gambar 3.7 Mesin XRF.....	32
Gambar 3.8 Cetakan Tembaga dan Slag.....	32
Gambar 3.9 Kompresor dan Lance .....	33
Gambar 3.10 Timbangan Digital .....	33
Gambar 3.11 Pengambil Slag .....	33
Gambar 3.12 Matte .....	34
Gambar 3.13 Logam Tembaga .....	34
Gambar 3.14 Batu Kapur .....	35
Gambar 3.15 LPG .....	35
Gambar 3.16 Skema Uji XRD .....	37
Gambar 3.17 Mesin Uji XRF.....	38



Gambar 4.1 Tembaga Matte .....	40
Gambar 4.2 Logam Tembaga .....	41
Gambar 4.3 Hasil Uji XRD Logam Tembaga.....	42
Gambar 4.4 Hasil Uji XRD Tembaga Matte.....	42
Gambar 4.5 Grafik Peningkatan %Cu pada Blister .....	44
Gambar 4.6 Hasil Uji XRD Tembaga Blister .....	47
Gambar 4.7 Grafik Penurunan %Cu pada Slag.....	49
Gambar 4.8 Grafik Hasil Uji XRD Slag .....	51
Gambar 4.9 Peningkatan Kadar Fe dalam Slag .....	53

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang besar. Salah satu contohnya adalah kandungan bijih yang terdapat ini Indonesia seperti besi, tembaga, emas, nikel, timah, batu bara dan sebagainya. Potensi ini merupakan keuntungan Indonesia di bidang teknologi maupun ekonomi baik secara langsung maupun tidak langsung. Bijih-bijih tersebut dapat diolah sehingga mempunyai nilai daya jual yang lebih tinggi dibandingkan bijih yang belum diolah.

Menurut data USGS (*United State Geological Survey*) pada *Mineral Year book Indonesia 2011*, Indonesia merupakan penghasil tembaga terbesar di dunia. Indonesia menghasilkan 542.700 metrik ton (tanpa proses smelting). Data ini menempatkan Indonesia pada urutan ke enam produksi tembaga di dunia. Tetapi menurut data USGS pada *Mineral Year Book Indonesia 2011*, produksi tembaga setelah proses smelting di Indonesia menghasilkan 276.200 metrik ton. Hal ini menandakan Indonesia kurang dalam hal pengolahan mineral tembaga ke tahap lebih lanjut. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan pemerintah pada perundangan-undangan baru, yaitu Peraturan Menteri ESDM Nomor 07 Tahun 2012 dan UU MINERBA No 4. Tahun 2009 tentang peningkatan nilai tambah mineral dan batu bara melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral dan batu bara ekspor *raw material* akan dilarang pada tahun 2014.

Dengan fakta di atas, Indonesia membutuhkan teknologi pengolahan mineral tembaga yang mampu mengolah mineral tembaga nasional. Teknologi pada pengolahan tembaga juga melalui beberapa tahap yaitu *roasting*, *smelting*, *converting* dan *refining*. Setiap proses ini banyak aspek yang ditinjau untuk mencapai hasil yang optimal pada produksi tembaga murni baik secara kualitas maupun kuantitas. Pada proses *converting* yang bertujuan untuk mendapatkan tembaga (*blister*) dengan



kemurnian yang lebih tinggi. Proses ini dengan memanaskan tembaga *matte* dan mengalirkan udara atau oksigen sehingga terjadi proses oksidasi. Hasil akhir dari proses *converting* ini adalah tembaga *blister*.

Pada proses *converting*, banyak aspek yang ditinjau seperti waktu pemanasan dan holding, jumlah udara yang digunakan, maupun fluks yang digunakan untuk mengoptimalkan pemisahan *matte* dengan *slag*. Fluks yang umum digunakan pada proses *converting* yaitu silika dan batu kapur. Batu kapur mengandung unsur kalsium yang merupakan unsur yang reaktif terhadap sulfida. Pada proses *converting* dibutuhkan proses desulfurisasi pada *matte* dan oksidasi untuk memisahkan pengotor menjadi *slag*. Di Indonesia juga merupakan salah satu penghasil tambang batu kapur yang besar sehingga pemanfaatan batu kapur merupakan hal yang memungkinkan untuk dilakukan pada proses *converting*. Berdasarkan hal itu, maka disusunlah tugas akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan flux dolomite pada Proses *Converting* pada Tembaga *Matte* menjadi *Blister*”.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan Tugas Akhir ini yaitu bagaimana pengaruh variasi komposisi penambahan dolomite pada proses *converting* pada tembaga *matte* menjadi *blister*.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan dolomite pada proses *converting* terhadap kadar kemurnian tembaga *blister*.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mempunyai beberapa manfaat antara lain

1. Membantu pengolahan mineral tembaga dengan deposit kecil yang ada di Indonesia.



2. Memberikan informasi empirik dari pengaruh penambahan Dolomite<sub>3</sub> pada proses *converting* yang optimal.

### **1.5. Batasan Masalah**

Untuk menganalisa masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yaitu :

1. Temperatur dan tekanan oksigen dianggap konstan.
2. Jumlah oksigen yang digunakan konstan.
3. Waktu proses *converting* konstan.
4. Muffle Furnace hanya dapat mencapai temperatur 1300°C.
5. Unsur yang ditinjau Cu, Fe, dan S



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tembaga

Tembaga adalah sebuah unsur logam ulet dan mampu tempa. Tembaga memiliki sifat konduksi panas dan elektrik yang baik dan juga sifat tahan korosinya maupun *antimicrobial*. Sifat-sifat karakteristik tembaga secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1. Tembaga secara alami terdapat di dalam lapisan kulit bumi dalam berbagai bentuk seperti sulfida (*chalcopyrite*, *bornite*, *chalcosite*, *covellite*), dalam bentuk karbonat (*azurite* dan *malachite*), dalam bentuk silikat (*chrysocolla* dan *diopside*) dan juga sebagai tembaga murni. (ICSG, 2012)

Tabel 2.1. Karakteristik Tembaga

<b>Simbol Kimia</b>	Cu
<b>Nomor Atom</b>	29
<b>Berat Atom</b>	63.54
<b>Densitas</b>	8960 kg m <sup>-3</sup>
<b>Titik Lebur</b>	1356 K
<b>Panas Spesifik cp (293K)</b>	0.383 kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Konduktivitas Termal</b>	394 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Koefisien Ekspansi Linear</b>	16.5 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Elastisitas Modulu Young</b>	110 x 10 <sup>9</sup> N m <sup>-2</sup>
<b>Konduktivitas Elektrik</b>	1.673 x 10 <sup>-8</sup> ohm-m
<b>Struktur Kristal</b>	Face-Centered Cubic

Sumber : ICSG, 2012

Tembaga memiliki konduktifitas panas dan listrik yang tinggi. Konduktifitas termal dari tembaga 10 kali lebih tinggi dari baja. Ini membuat tembaga lebih baik untuk *chill*, *casting molds*, dan aplikasi aplikasi lain yang membutuhkan perubahan cepat oleh panas. Titik lebur tembaga adalah 1981<sup>0</sup>F (1092<sup>0</sup>C). Namun



oksida terbentuk ketika tembaga terpapar oleh panas atau kondisi lingkungan periode yang panjang. *Surface treatments* membantu memelihara penampilan tembaga dalam hal ini. (Horath, 2001)

Tabel 2.2 Penggunaan Sifat-Sifat Tembaga (*Copper Development Association*) dan Aplikasinya

No	Sifat yang dimanfaatkan	% dari penggunaan total
1	Konduktifitas listrik	61
2	Ketahanan korosi	20
3	Konduktifitas termal	11
4	Sifat mekanik dan struktural	6
5	Seni	2
No	Aplikasi	% dari penggunaan total
1	Konstruksi bangunan	40
2	Produk-produk elektronik	25
3	Mesin dan peralatan industri	14
4	Peralatan transportasi	11
5	Barang-barang konsumen	10

Sumber : Davenport, 2002

Tembaga mudah difabrikasi menjadi kawat, pipa, lembaran dan lain-lain. Sifat-sifat tembaga seperti konduktifitas listrik, konduktifitas termal dan ketahanan korosi ialah sifat yang paling banyak dimanfaatkan, hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Devenport, 2002).

## 2.2. Mineral Tembaga

Lebih dari 200 mineral mengandung unsur tembaga dengan variasi jumlah yang berbeda, tetapi hanya 20 jenis mineral yang penting sebagai bijih tembaga (Tabel 2.3) atau sebagai batuan semi-berharga (*turquoise* dan *malachite*). Tembaga merupakan



tipe unsur *chalcophilic*. Oleh karena itu prinsip dasar mineral adalah sulfida, kebanyakan *chalcopyrite*, *bornite*, dan *chalcocite* yang sering disertai *pyrite*, *galena*, dan *sphalerite*. (Fathi Habashi, 1997).

Tabel 2.3 Jenis-jenis mineral tembaga

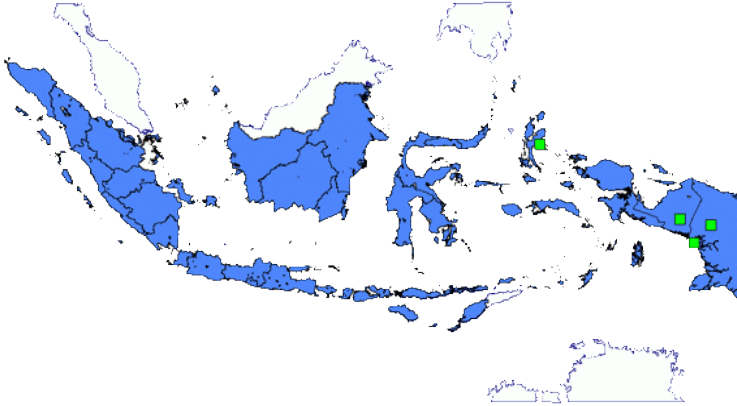
Mineral	Formula	%Copper
<i>Native Copper</i>	Cu	99.92
<i>Chalcosite</i>	Cu <sub>2</sub> S	79.9
<i>Diegnite</i>	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>	78.0
<i>Covellite</i>	CuS	66.5
<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS <sub>2</sub>	34.6
<i>Bornite</i>	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> /Cu <sub>3</sub> FeS <sub>3</sub>	55.5-69.7
<i>Tennantite</i>	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	42-52
<i>Tetradrite</i>	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	30-45
<i>Energite</i>	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	48.4
<i>Bournonite</i>	CuPbSbS <sub>3</sub>	13.0
<i>Cuprite</i>	Cu <sub>2</sub> O	88.8
<i>Tenorite</i>	CuO	79.9
<i>Malachite</i>	CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	57.5
<i>Azurite</i>	2CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	55.3
<i>Chrysocolla</i>	CuSiO <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	30-36
<i>Diopside</i>	Cu <sub>6</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ].6H <sub>2</sub> O	40.3
<i>Brochantite</i>	CuSO <sub>4</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	56.2
<i>Anlerite</i>	CuSO <sub>4</sub> .2Cu(OH) <sub>2</sub>	53.8
<i>Chalcanthite</i>	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	25.5
<i>Atacamite</i>	CuCl <sub>2</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	59.5

Sumber : Fathi Habashi, 1997





Di Indonesia sendiri, mineral tembaga tersebar di berbagai daerah. Peta persebaran mineral tembaga yang ada di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Persebaran Mineral Tembaga yang Ada di Indonesia

### 2.3. Batu Kapur

Batu kapur merupakan mineral yang terbentuk secara alami yang terdiri dari kalsium karbonat tetapi juga berisi magnesium karbonat sebagai komponen sekundernya. (Fathi Habashi, 1997) Batu kapur memiliki beberapa nama sesuai dengan deposit dan kandungan didalam mineral, beberapa nama dari batu kapur yaitu *Calcite*, *Dolomite* (54-58% $\text{CaCO}_3$ ), *Aragonite*. Batu kapur murni (*Calcite*) berwarna putih. Batu kapur memiliki striktur kristalin. Ukuran butir dari batu kapur meningkat sebanding dengan jumlah rekristalisasi yang terjadi saat pembentukan pada deposit. *Calcite* dan *Dolomite* memiliki struktur kristal *Rhombohedral*. (Fathi Habashi, 1997)

Kapur sangat berperan pada beberapa aplikasi untuk mengontrol polusi. Kapur digunakan untuk menghilangkan oksida

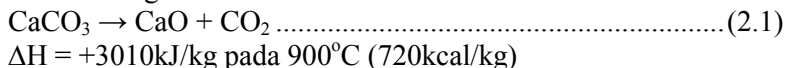


sulfur dan hidrogen klorida dari emisi gas buang. Kapur juga digunakan sebagai *flux* pada industri manufaktur baja. (Fred Weber, 2006)

Indonesia merupakan penghasil batu kapur. Setiap tahunnya dapat menghasilkan kurang lebih 1800 metrik ton. Pada tahun 2007, Indonesia menghasilkan 1700 metrik ton. Sedangkan pada tahun 2011, Indonesia menghasilkan 2000 metrik ton batu kapur. (USGS, 2011)

Saat batu kapur digunakan dalam *metal refining*, batu kapur diubah menjadi *quicklime*, yang bereaksi dengan oksida asam ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) untuk menghasilkan *slag* cair. Kebanyakan ini digunakan pada blast furnace untuk produksi besi, dengan *slag* mengandung 40-50%  $\text{CaO}$ . Jumlah yang lebih kecil digunakan pada produksi tembaga, timah, seng, dan antimon. (Fathi Habashi, 1997)

Reaksi kimia pada dekomposisi kalsium karbonat dengan panas adalah sebagai berikut :



#### 2.4. Pengolahan Tembaga secara Pirometalurgi

Dalam skema pengolahan mineral tembaga, ada beberapa istilah penting antara lain unit proses, unit operasi dan *flow sheet*. Unit proses ialah suatu langkah yang dicirikan oleh suatu reaksi kimia tertentu. Unit operasi ialah suatu langkah yang disirikan oleh fitur-fitur fisik tertentu. (Rosenqvist, 2004).

Di sisi lain, *flowsheet* adalah proses atau kombinasi proses yang digunakan dalam sebuah gambaran pabrik, yang mana terdiri dari unir proses dan unit operasi. Tiap mineral memiliki *flow sheet* nya sendiri-sendiri, berbeda antara mineral satu dengan mineral lainnya (Rosenqvist, 2004). Pengolahan tembaga memiliki flow sheet tertentu yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, *flotasi*, *roasting*, *smelting*, *blowing*, *fire refining* dan



elektrolitik *refining*. *Flow sheet* pengolahan mineral tembaga diperlihatkan pada gambar 2.2

#### **2.4.1. Benefikasi**

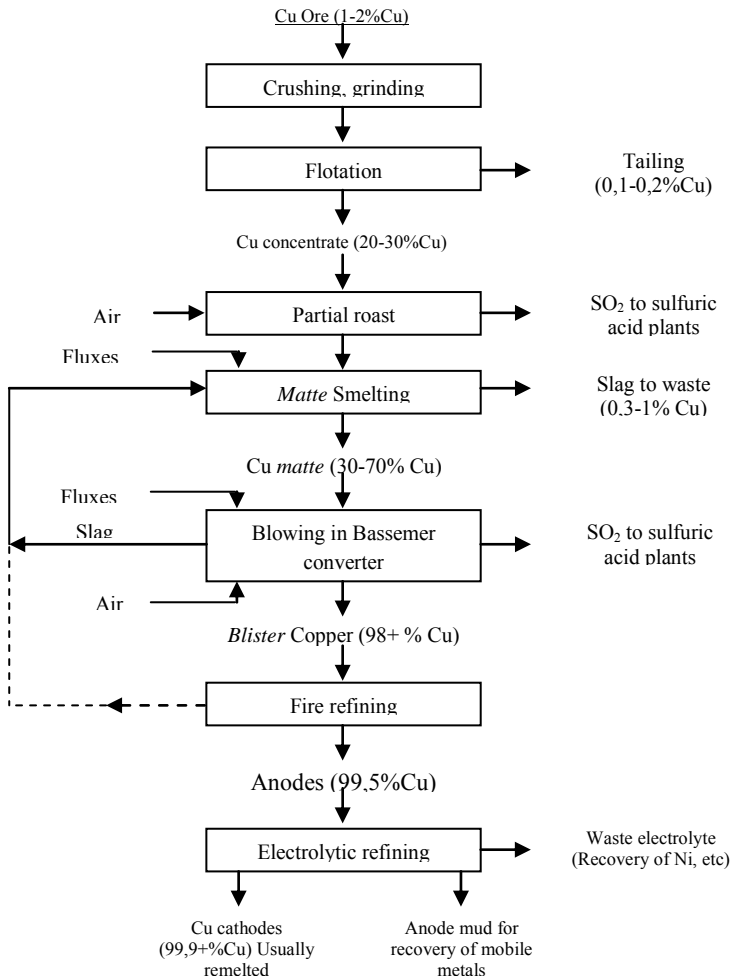
Sebelum dimasukkan ke smelter, mineral harus dibenefikasi. Benefikasi ialah bagian proses ekstraksi yang mana tujuannya ialah meningkatkan sifat fisik dan kimia mineral. Untuk proses benefikasi *high-grade ore* caranya dengan crushing sehingga membentuk *fine ore* dan *lump ore* (mineral kasar). Sedangkan *low-grade* caranya dengan urutan : *washing*, *screening*, *magnetic separation*, *concentration* dll. Hasil dari benefikasi ini dinamakan sebagai konsentrat. Baik *fine ore* maupun konsentrat harus digumpalkan (diagglomerasi) sebelum masuk ke BF, karena jika ore atau partikel serbuk terlalu halus, maka tidak bisa menyediakan counter flow (turun) yang baik dan gas yang naik. Dua cara aglomerasi yang umum digunakan ialah *sintering* dan *pelletizing*. *Sintering* untuk *fine ore*, sedangkan *pelletizing* untuk konsentrat (Babich dkk, 2008).

Impuritas dalam ore dibagi menjadi impuritas yang berguna dan yang membahayakan. Impuritas yang membahayakan antara lain S, P, As, Zn, Pb, Na, K. Zn dan Pb dapat merusak lapisan refraktori dengan mengurangi life time dari *Blast Furnace*. Alkali menyebabkan pengurangan kekuatan kokas dan pellet, mengganggu distribusi gas dan pengaliran produk likuid (Babich dkk, 2008).

*Crushing* mineral tembaga dilakukan dengan menggunakan *jaw crusher* atau dengan crusher-crusher lainnya, sedangkan *grinding* dilakukan dengan menggunakan *ball mill*. Tujuan dari *crushing* dan *grinding* ini ialah untuk mengecilkan ukuran mineral hingga ukuran tertentu yang diijinkan masuk ke *smelter*. Setelah mineral dikecilkan ukurannya, kemudian dilakukan konsentrasi yaitu dengan metode flotasi. Metode flotasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan kadar Cu dalam mineral dengan cara memanfaatkan sifat hidrofilik dan hidrofobik antara mineral dan *gangue* terhadap cairan flotasi. Teknik flotasi yang



paling sering digunakan ialah *Froth Flotation* yang menggunakan bermacam-macam reagen untuk memisahkan Cu dari unsur-unsur pengotornya. (Babich dkk, 2008).

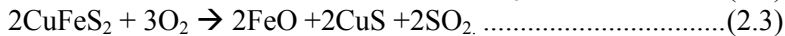
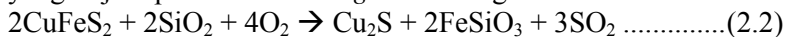


Gambar 2.2 *Flow Sheet* pengolahan bijih tembaga (Rosenqvist, 2004)

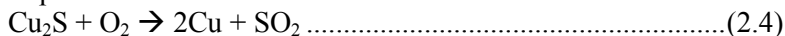


### 2.4.2. Roasting

*Roasting* disini bertujuan untuk menghilangkan impuritas yang ada pada konsentrat. Biasanya, konsentrat mengandung 10-56% air. Mineral tembaga tadi dipanaskan hingga temperatur 590°C. Impuritas-impuritas seperti arsenik, raksa dan beberapa belerang hilang, belerang dihilangkan dengan cara pembentukan gas SO<sub>2</sub>. Yang tersisa ialah produk oksidasi yang mengandung persentase belerang yang cukup rendah untuk smelting. Reaksi yang terjadi pada saat *roasting* ialah sebagai berikut.



Kemudian, tembaga (I) sulfida dirubah menjadi tembaga dengan tiupan udara akhir.



Pada 2005, *roasting* tidak lagi umum digunakan pada perlakuan konsentrat. Teknologi yang sedang umum digunakan ialah smelting langsung, seperti : *flash smelting*, Noranda, USA *smelting*, Mitsubishi atau dapur EL Temento (Babich dkk, 2008).

### 2.4.3. Smelting

Tujuan dari *smelting* ialah menghilangkan unsur selain Cu pada mineral tembaga, bisa dengan cara mengoksidasi atau dengan cara mereduksi dengan gas tanur untuk memproduksi fasa likuid sulfida yang kaya akan Cu (*matte*). Produk dari proses smelting ini antara lain (i) *matte* likuid sulfida (45-75% Cu) dan (ii) *slag*. Secara teori, konsentrat dapat direduksi langsung hingga menghasilkan logam tembaga dengan mengoksidasikan unsur sulfida menjadi tembaga dan oksida besi. Selain itu, proses *smelting* juga menghasilkan gas luar berupa SO<sub>2</sub> (10 – 60% SO<sub>2</sub>). SO<sub>2</sub> ini berbahaya terhadap lingkungan, sehingga SO<sub>2</sub> ini harus dihilangkan sebelum dilepaskan ke lingkungan. Hal ini sering dilakukan dengan penangkapan gas SO<sub>2</sub> sebagai asam sulfurik. Berbagai jenis smelter dapat digunakan untuk proses smelting ini

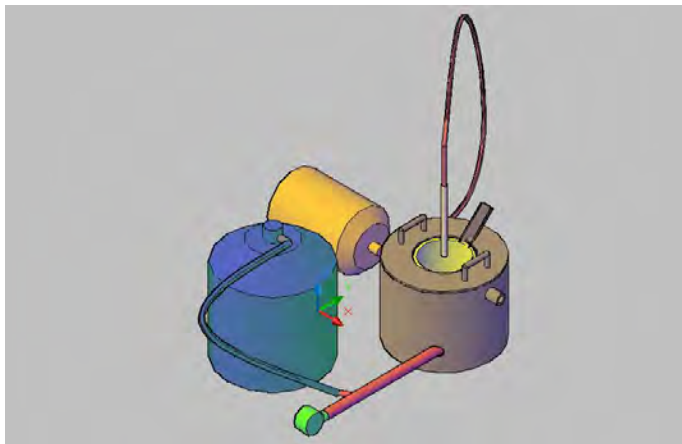


antara lain Mitsubishi, Outokumpu, Flash dan lain-lain (Devenport, 2002).

#### 2.4.4. *Converting*

*Converting* adalah proses oksidasi Cu-Fe-S *matte* cair menjadi tembaga *blister* cair (99%Cu). Proses ini memerlukan oksidasi Fe dan S dari *matte* dengan udara yang diperkaya oleh oksigen atau hembusan udara. Material utama untuk proses *converting* adalah Cu-Fe-S *matte* dari proses smelting. Material tambahan lain pada proses ini termasuk silika flux, udara dan oksigen. Terdapat beberapa macam pada proses *converting*, yaitu:

1. *Batch Converting* :Piere-Smith Converter
2. *Continuous Converting* :Outkompu Flash, Mitsubishi Continuous, Noranda Continuous



Gambar 2.3 Skema Muffle Furnace

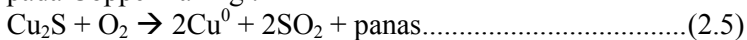
Pada umumnya proses *converting* ini dilakukan pada konverter silindrik Pierce-Smith. Produk dari proses ini adalah tembaga *blister* cair, *slag* besi-silikat, dan gas SO<sub>2</sub>. *Matte* yang berupa cairan (1200°C – 1300°C) ditransfer dari smelter ke dalam



ladel dan dituangkan ke dalam konverter melalui saluran terpusat yang besar. Kemudian *matte* tadi ditiupkan oksigen (*blast*) dan konverter diputar. Panas yang digunakan proses *converting* dihasilkan dari proses oksidasi Fe dan S yang merupakan proses autotermal. (Davenprot, 2002)

*Converting* terjadi pada dua daerah yaitu :

- *Coppermaking* adalah daerah di mana sulfur dalam  $\text{Cu}_2\text{S}$  dioksidasi menjadi  $\text{SO}_2$ . Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada *Coppermaking* :



- *Slag Forming* adalah daerah di mana Fe dan S dioksidasi menjadi FeO,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan  $\text{SO}_2$ . Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada *Slag Forming* :

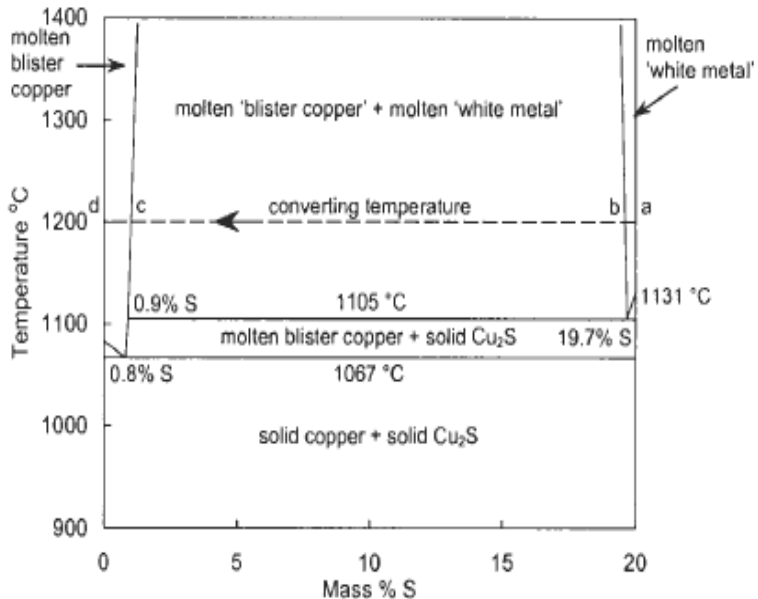


Proses *converting* yang terdiri dari kedua reaksi tersebut merupakan proses yang bertahap. Tahapan yang pertama merupakan reaksi pembentukan slag yaitu oksidasi besi. Lalu tahapan yang kedua adalah reduksi sulfur dari tembaga sulfida untuk mendapatkan logam tembaga murni. Diagram fasa Cu dengan S dapat dilihat pada gambar 2.4.

## 2.5. Tembaga Matte

Proses *smelting* menghasilkan dua fasa lelehan yang tidak dapat terlarut. Lelehan yang pertama adalah fasa sulfida yang banyak dengan kadar tembaga yang tinggi (*matte*) dan yang kedua adalah fasa oksida(*slag*). Pada pengolahan tembaga, *matte* merupakan hasil dari setengah pengolahan tembaga. (fathi Habashi, 2007)

*Matte* merupakan sistem ternary dari Cu-Fe-S. Komposisi dari pirometalurgi tembaga *matte* dan fasa likuid batas yang tidak akan tercampur antara *matte* dan fasa logam dapat dilihat pada gambar 2.5 pada keadaan likuid, tembaga *matte* adalah campuran homogen dari sulfida tembaga(I) dan besi(II), yang disebut dengan sistem pseudobinary  $\text{Cu}_2\text{S}$ -FeS.



Gambar 2.4 Diagram Fase Cu-S (Davenport, 2002)

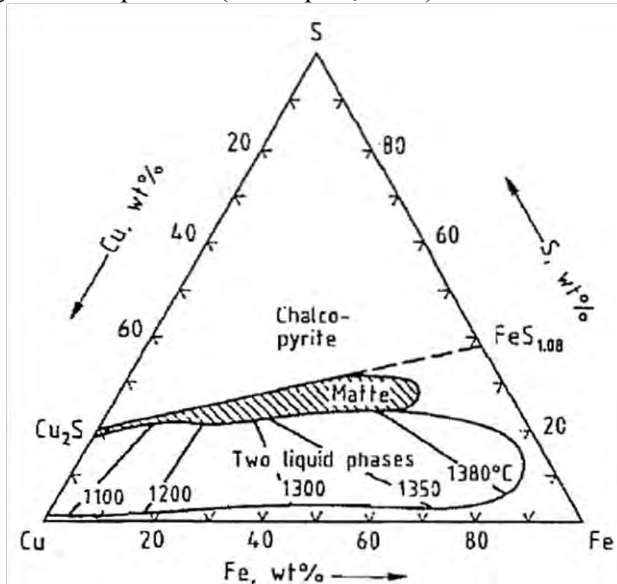
Arsenida, dan antimonida terlarut dalam lelehan matte, tetapi kelarutan kedua unsur tersebut akan menurun seiring dengan peningkatan presentase dari tembaga dalam matte. Berdasarkan hal itu, saat konsentrasi arsenic tinggi, fase spesial, dapat disebut dengan speiss, dapat dipisahkan. Ini dihasilkan dengan kondisi reduksi pada blast furnace, dan proses dekomposisi yang cukup sulit.

Viskositas matte rendah yaitu sekitar 0,003kg/m.s. Slag memiliki viskositas 0,2 hingga 1 kg/m.s. Pada proses smelting yang beroperasi pada temperatur 1250°C, penuangan matte dan slag harus dijaga agar tetap dalam kondisi lelehan. Tegangan permukaan matte memiliki nilai 0,33 hingga 0,45N/m, meningkat seiring dengan peningkatan kadar Cu<sub>2</sub>S. Temperatur hanya berdampak sedikit pada tegangan permukaan. (Nakamura, 1988).





*Specific gravity* matte memiliki jarak antara 3,9 dengan komposisi FeS murni dan 5,2 untuk  $\text{Cu}_2\text{S}$  murni. Nilai ini menurun dengan peningkatan temperatur. (Davenport, 2002)



Gambar 2.5 Diagram Ternary Tembaga Matte (Fathi Habashi, 2007)



Gambar 2.6 Matte Hasil Mini Blast Furnace Institut Teknologi Sepuluh Nopember

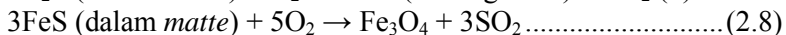
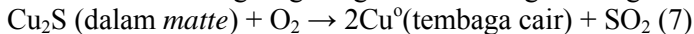


## 2.6. *Converting* dengan Penambahan Dolomite

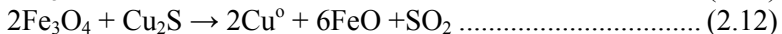
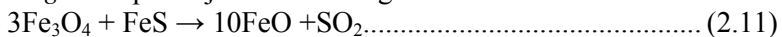
Proses *converting* dilakukan pada temperatur 1220°C. Proses ini selalu berisi logam tembaga cair, *slag* dengan komposisi Cu, Fe<sup>3+</sup>, dan terkadang Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> solid (magnetite).

Pada Mitsubishi Converter menggunakan CaO-based *slag* (daripada SiO<sub>2</sub>-based). Dalam proses pengembangan, telah ditemukan bahwa mengalirkan hembusan yang kaya oksigen pada permukaan SiO<sub>2</sub>-based *slag* akan membuat kerak magnetite padat. CaO akan bereaksi dengan magnetite, tembaga cair dan O<sub>2</sub> menjadi bentuk Cu<sub>2</sub>O-CaO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> *slag* cair. *Slag* ini mempunyai komposisi 14-16%Cu, 40-55% Fe (Fe<sup>3+</sup>), dan 15-20% CaO. Viskositas *slag* ini relatif rendah yaitu sekitar 0,1 kg/ms dan cenderung menghindari bentuk magnetite solid.(Davenport, 2002) Reaksi yang terjadi pada *converting* dengan penambahan CaCO<sub>3</sub> adalah sebagai berikut :

Reaksi oksidasi langsung dengan udara oksigen sebagai berikut :



*Slag* ini dapat terjadi reaksi dengan *matte* :



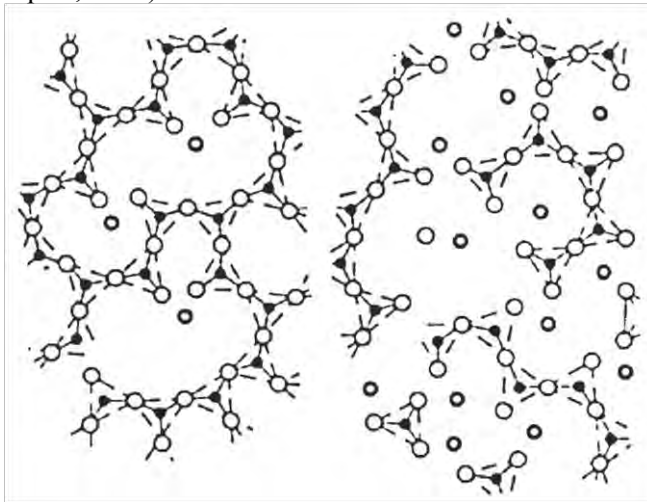
(Davenport, 2002)

## 2.7. *Slag Hasil Converting*

*Slag* adalah larutan dari lelehan oksida. Fasa oksida tersebut memiliki FeO dari oksidasi Fe, SiO<sub>2</sub> dari flux, dan oksida pengotor dari batuan mineral. Oksida yang sering dijumpai pada *lag* yaitu FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Struktur molekul lelehan *slag* dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, asam, basa dan netral. Silika dan alumina merupakan sangat dikenal dengan *slag* jenis asam. Saat oksida meleleh, mereka bergabung,



membentuk rantai poli-ion yang dapat dilihat pada gambar 2.7. slag asam ikatan poli-ion memiliki viskositas yang tinggi, membuat slag ini sulit untuk dialirkan. Slag asam juga memiliki kelarutan yang rendah dengan oksida asam yang lain. Ini dapat mengakibatkan kendala dalam pembentukan tembaga karena pengotor dalam bentuk oksida ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,) tidak bisa dihilangkan ke dalam slag, mereka akan tetap dalam matte maupun tembaga. Dengan menambahkan oksida basa seperti calcia ( $\text{CaO}$ ) dan magnesita ( $\text{MgO}$ ) pada slag asam akan memecah rantai poli-ion menjadi unit struktur yang lebih kecil. Hasilnya slag basa akan memiliki viskositas yang lebih rendah. (Davenport, 2002)



Gambar 2.7 Efek oksida basa pada struktur silikia poli-ion dalam lelehan slag.  $\bullet$  = Si,  $\circ$  = O,  $\bullet$  = Ca atau Mg (Davenport, 2002)

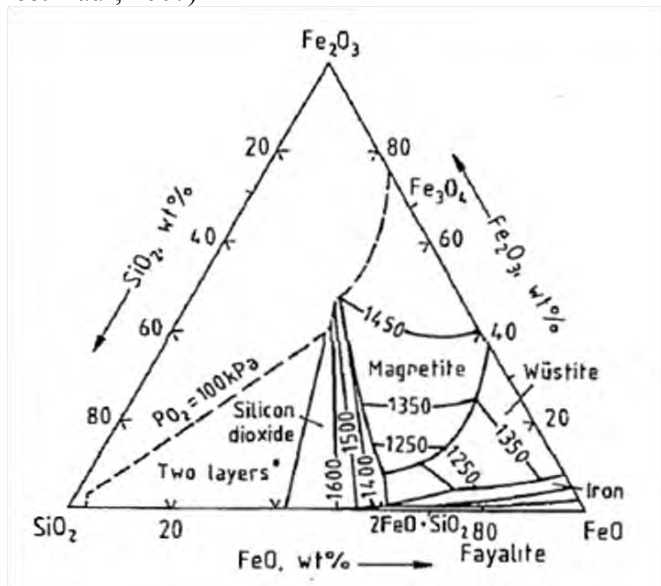
Slag dapat dianggap sebagai fasa oksida yang kompleks dalam sistem  $\text{CaO-FeO-SiO}_2$ . Atau karena  $\text{CaO}$  yang relatif rendah pada kebanyakan slag digambarkan pada diagram ternary parsial  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  yang dapat dilihat pada gambar 2.8. Slag



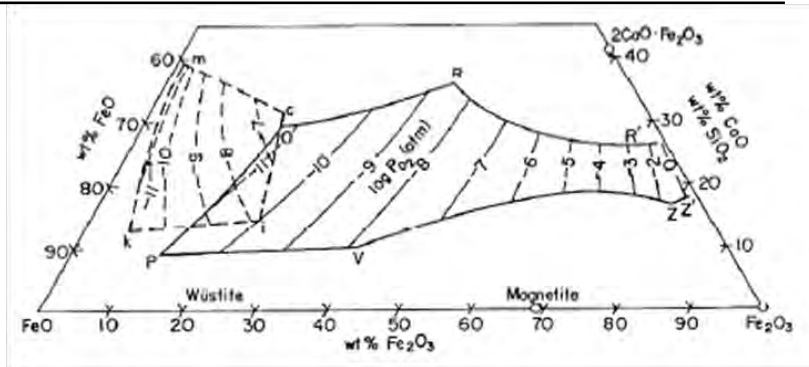
memiliki densitas yang rendah, yaitu 3,1 hingga 3,6 gram/cm<sup>3</sup>. Slag pada proses converting adalah dalam bentuk senyawa besi(II) silikat (40-50% Fe) dengan fasa magnetit yang tinggi, sebesar 15-30% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. (Fathi Habashi, 2007)

Pada Mitsubishi converter, menggunakan sistem slag CaO dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub>. Slag ini memiliki viskositas yang rendah sekitar 0,1 kg/ms dan menghindari terjadinya pembentukan magnetit padat. (Davenport, 2002)

Komposisi slag besi silikat dan besi kalsium dapat dijelaskan dengan sistem FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> dan FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO. Besi silikat memang telah lama digunakan pada smelting tembaga, tetapi memiliki permasalahan pada proses converting yang kontinyu. Perbandingan dari kedua slag dapat dilihat pada gambar 2.9 bersama dengan tekanan parsial oksigen tertentu. (Rajneet Kaur, 2007)

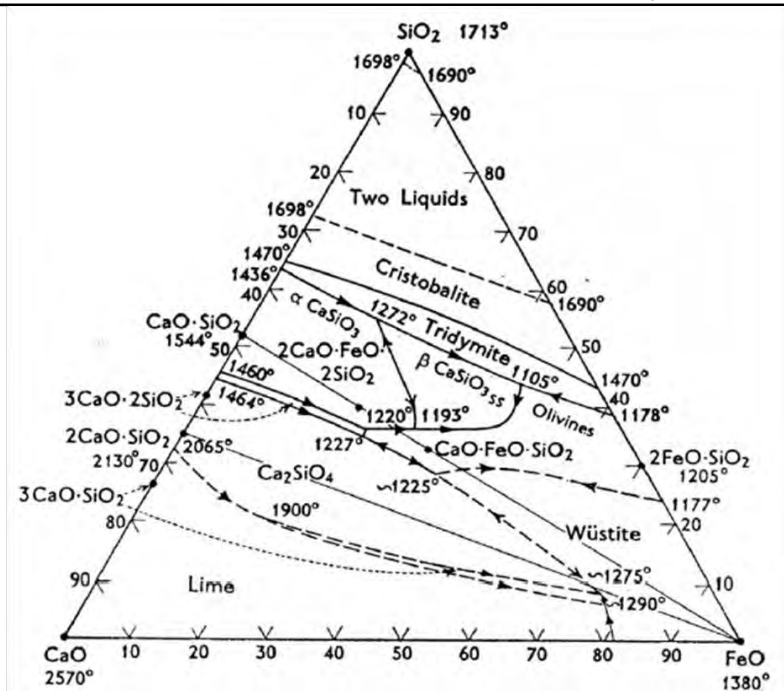


Gambar 2.8 Diagram Fasa Ternary Slag FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (Fathi Habashi, 2007)



Gambar 2.9 Diagram kesetimbangan ternary FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO/SiO<sub>2</sub> (Rajneet Kaur, 2007)

Pada gambar 2.9, lelehan homogen pada sistem slag kalsium dengan temperatur 1300°C dibatasi dengan daerah yang diarsir garis titik. Lelehan ini dapat setimbang dengan besi, wustite, magnetite, kapur, dan dikalsium ferit. Dengan daerah likuid kesetimbangan tekanan parsial oksigen dari  $10^{-11}$  hingga 1 atm. Jika dibandingkan dengan silika, yang lelehannya akan homogen pada daerah yang diarsir dengan garis putus-putus hanya setimbang pada tekanan parsial oksigen dari  $10^{-7}$  hingga  $10^{-11}$  atm dengan fase lelehan homogen yang berupa besi, wustite, magnetite dan silika. Dengan perbandingan daerah lelehan homogen mengindikasikan bahwa sistem slag kalsium jauh lebih baik dibandingkan dengan silika. Pada kondisi setimbang dengan temperatur 1300°C, sistem slag kalsium dengan komposisi berat kapur sebesar 18%, dapat melarutkan magnetit pada tekanan parsial oksigen  $10^{-11}$  hingga 1 atm. Hal ini akan menurunkan viskositas yang mengakibatkan penurunan tembaga dalam slag dan memudahkan slag mengalir pada saat tapping. Dengan penambahan CaO dalam slag mengakibatkan interaksi yang lebih baik antara CaO dengan FeO di mana kedua komponen ini membentuk paduan. (Rajneet Kaur, 2007)



Gambar 2.10 Diagram Keseimbangan Ternary CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO pada temperatur 1150°C – 1250°C

## 2.8. Tembaga dalam Slag

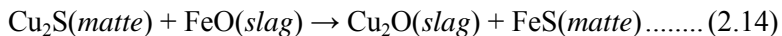
Dalam proses pyrometalurgi produksi tembaga cair terdiri dari dua *slag*, *smelting* dan *converting*. *Smelting furnace slag* mengandung 1-2%Cu. Presentase ini meningkat pada *matte*. *Slag* hasil *converting* mengandung 4-8%Cu. Presentase ini menandakan adanya peningkatan %Cu dalam *matte* pada *converting*. (Davenport, 2002)

Silika, bersama dengan magnetit akan meningkatkan viskositas dari slag yang menyebabkan tembaga dalam slag akan meningkat walaupun silika umum digunakan sebagai flux pada proses *converting*. Untuk beberapa alasan tersebut, para peneliti



melakukan penelitian agen flux lainnya seperti colemenite ( $\text{CaF}_2$ ). Flux ini telah dibuktikan akan meningkatkan fluiditas dan menurunkan titik leleh slag. (Aydin Rusen dkk, 2011)

Untuk melarutkan Cu maka direaksikan dengan ion  $\text{O}^{2-}$  ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) atau dengan ion  $\text{S}^{2-}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ).  $\text{Cu}_2\text{O}$  menjadi bentuk yang dominan dari Cu terlarut pada grade *matte* di atas 70%  $\text{Cu}_2\text{S}$ , dengan aktifitas  $\text{Cu}_2\text{S}$  yang relatif tinggi maka reaksinya sebagai berikut :



Dengan reaksi ini Cu yang terlarut dalam *slag* converter muncul kebanyakan sebagai  $\text{Cu}_2\text{O}$ . (Davenport, 2002)

Menurunkan tembaga dalam *slag* dapat dilakukan dengan cara meminimalisir konsentrasi Cu dalam *slag* dengan cara

- Memaksimalkan fluiditas *slag*, dengan menghindari keberadaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$  dalam *slag* dan menahan *slag* tetap panas.
- Menyediakan  $\text{SiO}_2$  yang cukup untuk memisahkan fase *slag* dan *matte*
- Menghindari ketebalan lapisan yang terlalu tinggi pada *slag*
- Menjaga tapping *matte* dengan *slag*

(Davenport, 2002)

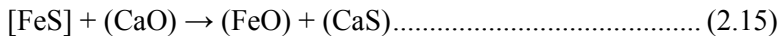
## 2.9. Desulfurisasi

Sekitar 80-90% sulfur ditemukan dalam blast furnace didapatkan dari kokas, batubara dan minyak saat diinjeksikan. Dalam kokas sulfur berupa organik tetapi didalam ash juga ditemukan dalam bentuk sulfida dan sulfat. Material bijih dan flux mengandung sulfur dalam bentuk sulfat dan sulfida. (Babich, 2008)

Transfer sulfur dari logam menjadi *slag* dapat bereaksi membantuk sulfida dari Mn, Mg, Ca yang diserap oleh *slag*. Sulfur dapat dihilangkan ke dalam *slag* bereaksi dengan Mn, Mg, Na, dan Ca. Kalsium merupakan agen desulfurisasi yang lebih



kuat dibandingkan mangan. Ca dan Mg merupakan ageen desulfurisasi utama dalam blast furnace. Ca dan Mg berada dalam *slag* dalam bentuk oksida. Desulfurisasi dengan CaO adalah reaksi utama dari penghilang sulfur dengan reaksi sebagai berikut



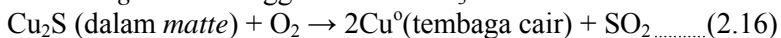
Pengendalian kadar sulfur dalam logam dapat dilakukan dengan cara desulfurisasi. Meningkatkan kebasaan slag dipengaruhi oleh CaO yang lebih stabil dibandingkan sulfida CaS. Tetapi peningkatan rasio distribusi sulfur dipengaruhi oleh peningkatan kebasaan dari slag yang memiliki batas pada temperatur tertentu. Peningkatan viskositas slag akan mengakibatkan difusi sulfur yang lebih buruk. Temperatur tinggi juga diperlukan karena reaksi ini merupakan reaksi endotermik. Peningkatan waktu kontak antara slag dan logam pada proses desulfurisasi akan meningkatkan proses desulfurisasi yang baik. (Babich, 2008)

### 2.10. Termodinamika pada Proses *Converting*

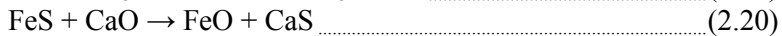
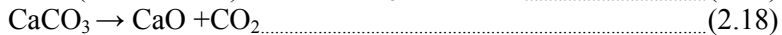
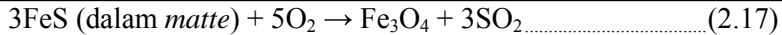
Gambar 2.9 menunjukkan gambar diagram Ellingham yang menggambarkan hubungan antara  $\Delta G^\circ - T$  untuk oksidasi dan sulfidasi dari beberapa logam. Energi bebas Gibbs berguna untuk mengukur suatu reaksi akan terjadi spontan atau tidak. Nilai negatif  $\Delta G^\circ$  mengindikasikan reaksi akan terjadi spontan, sedangkan nilai positif mengindikasikan reaksi tidak akan terjadi. (Gaskell, 1973)

Pada diagram Ellingham ini ditambahkan dengan skala nomografik dari  $\text{PO}_2$ ,  $\text{PCO}/\text{CO}_2$ , dan  $\text{PH}_2\text{O}/\text{PH}_2$ . Hal tersebut dapat memfasilitasi penentuan  $\text{PO}_2$  (eq,T),  $\text{PCO}/\text{PCO}_2$  (eq,T), dan  $\text{PH}_2\text{O}/\text{PH}_2$  (eq,T) pada kesetimbangan  $2\text{M} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MO}$ ,  $\text{M} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{MO} + \text{CO}$  dan  $\text{M} + \text{H}_2 \rightarrow \text{MO} + \text{H}_2$  (Gaskell, 1973).

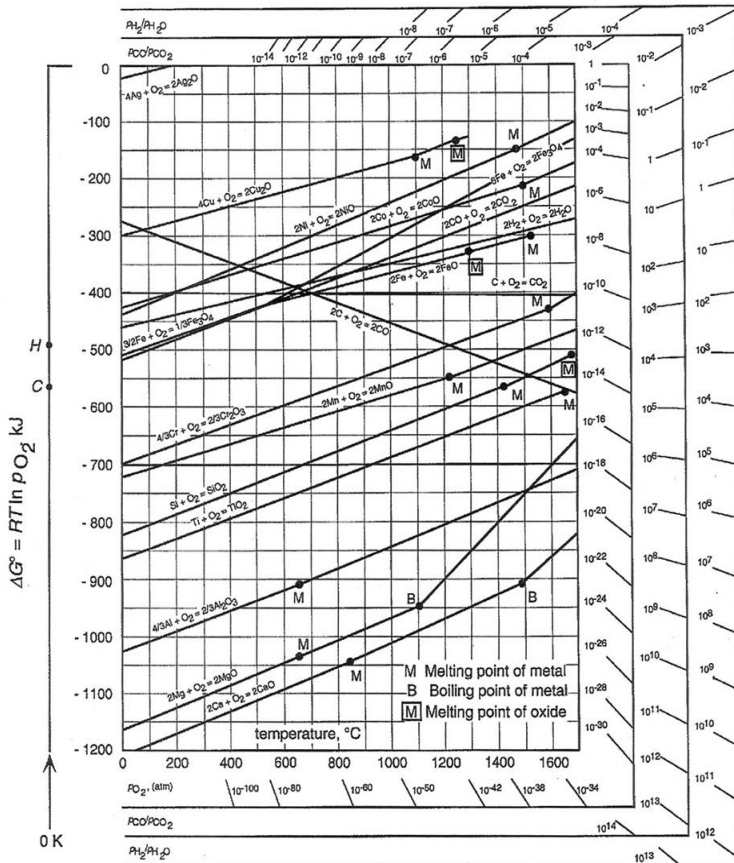
Berikut ini adalah contoh reaksi oksidasi yang terjadi pada *converting matte* menggunakan  $\text{CaCO}_3$ .







Tabel 2.4 ini menunjukkan beberapa sifat termodinamik pada perhitungan termodinamika pada proses *converting matte*.



Gambar 2.11 Diagram Eliingham (Gaskell, 1973)



Tabel 2.4 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa

No.	Elemen	$\Delta H_{298}$ (kJ/mol)	$\Delta S_{298}$ (J/molK)	Temperatur Transisi (K)	$C_p$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{fus}$ (kJ/mol)
1	Kalkosit (Cu <sub>2</sub> S (α))	-80,115	120,9	298	81,59	-80,115
	Cu <sub>2</sub> S (β)			376	97,28	-82,216
	Cu <sub>2</sub> S (γ)			623	85,02	-75,618
	Cu <sub>2</sub> S (L)			1400	85,02	- 151,146
2	Cu <sub>(l)</sub>	9,31	33,2	298 – 1365	22,64 + 6,28 x 10 <sup>-3</sup> T	-12,97
				1365 - 1600	31,38	
3	CuS	-53,1	66,5	-	-125,13 + 0,0567T + 0,8422T <sup>1/2</sup>	-
4	O <sub>2(g)</sub>	0	205,2	-	29,96 + 4,184 x 10 <sup>-3</sup> T – 1,67 x 10 <sup>5</sup> T <sup>-2</sup>	-
5	FeO <sub>(s)</sub>	-264,4	60,7	-	64,07	-
6	CO <sub>2(g)</sub>	-393,5	213,8	-	44,14 + 9,04 x 10 <sup>-3</sup> T – 8,58 x 10 <sup>5</sup> T <sup>-2</sup>	-
7	SO <sub>2(g)</sub>	-296,85	248,2	-	43,43 + 10,63 x 10 <sup>-3</sup> T – 5,94 x 10 <sup>5</sup> T <sup>-2</sup>	-
8	CaCO <sub>3</sub>	-1207,12	92,88	298-775	130,54	-
9	CaO	-635	38,1	298-1600	56,72	-
10	CaS	-482,4	56,5	-	56,2	-
11	CuO	-157,31	42,6	-	60,18	-
12	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-1118,4	146,4	298-900	297,3	-
				900-3000	199,3	
13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-824,2	87,4	298	103,7	
				950	150,6	



				1050	140,4	
				1300	142,3	
14	FeS	-100,0	60,3	298-411	95,05	-
				411-598	72,3	
				598-1463	168,5	
				1463-3800	195,6	
15	CaO.FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-478.2	48,653	-	291.87	-

### 2.11. Stoikiometri

Kebanyakan masalah keseimbangan material melibatkan reaksi kimia. Ini membutuhkan penyeimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia, pemahaman penyusunan atom saat reaksi kimia, dan merepresentasikan reaksi kimia dengan persamaan stoikiometri. (Arthur, 2011)

Jumlah substansi satuan mol dikembangkan sebagai perhitungan satuan nomor atom dalam 0,012kg dari isotop atom karbon 12, di mana  $6,02214 \times 10^{23}$ . Angka ini disebut sebagai bilangan Avogadro ( $N_A$ ). Massa dari satu mol sebuah elemen dalam bentuk atom sebanding dengan massa atom dalam gram. (Arthur 2011)

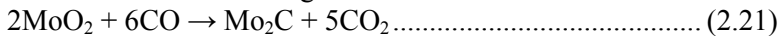
Pada suatu senyawa diperlukan penentuan komposisi fraksi atom dan massa. Menentukan kalsium karbinit yang memiliki rumus kimia  $\text{CaCO}_3$ . Satu mol  $\text{CaCO}_3$  terdiri dari satu mol Ca, satu mol C, dan tiga mol O. Dari rumus empirik  $\text{CaCO}_3$  terdiri dari lima atom, jumlah fraksi substansi (mol) dari setiap elemen dihitung dengan membagi nomor atom dari setiap elemen dengan lima. Dengan demikian xCa adalah 0,2, xC adalah 0,2, dan xO adalah 0,6. Namun, penentuan  $\text{CaCO}_3$  terbuat dari satu mol CaO ditambah satu mol  $\text{CO}_2$ .

Penulisan reaksi kimia yang benar adalah pemahaman yang krusial yang terjadi pada sebuah proses. Rumus kimia dari reaktan dan produk menunjukkan jumlah elemen yang dibutuhkan untuk membuat senyawa. Reaksi kimia memberikan informasi



pada jumlah relatif setiap elemen yang bereaksi. Jumlah relatif dari reaktan dan produk diberikan dengan koefisien dalam koefisien kesetimbangan. (Arthur, 2011)

Berikut ini adalah contoh reaksi kesetimbangan pada reduksi karbida molibdenum dengan karbon monoksida.



Dengan persamaan reaksi ini dapat ditentukan jumlah mol, massa, volume yang terjadi pada reaksi tersebut dengan stoikiometri kesetimbangan reaksi.

## 2.12. Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang converting sebelumnya dapat dilihat pada tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Kajian Penelitian Sebelumnya

No	Penelitian	Oleh (Tahun)
1	Refining Tembaga	Walter O. Snelling (1932)
2	Refining Tembaga dan Penambahan Flux	Canning, Jr (1982)
3	Permodelan Injeksi Gas pada Pierce Smith Converter	Jussi Vaarno (1997)
4	Permodelan Kinetik pada Elemen Utama saat Proses Converting	A.K Kylo (1998)
5	Slag Ferrous Calcium Silicate (FCS) untuk Continous Converting Tembaga	Rajneet Kaur (2007)
6	Kesetimbangan Fasa Dalam Paduan Slag Kalsium Silikat: edisi IV Temperatur Liquid dan Solubility pada $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ Slag pada Temperatur $1250^\circ\text{C}$ dan $1300^\circ\text{C}$ serta Tekanan Oksigen $10^{-6}$ atm	Stanko Nikolic dkk (2008)

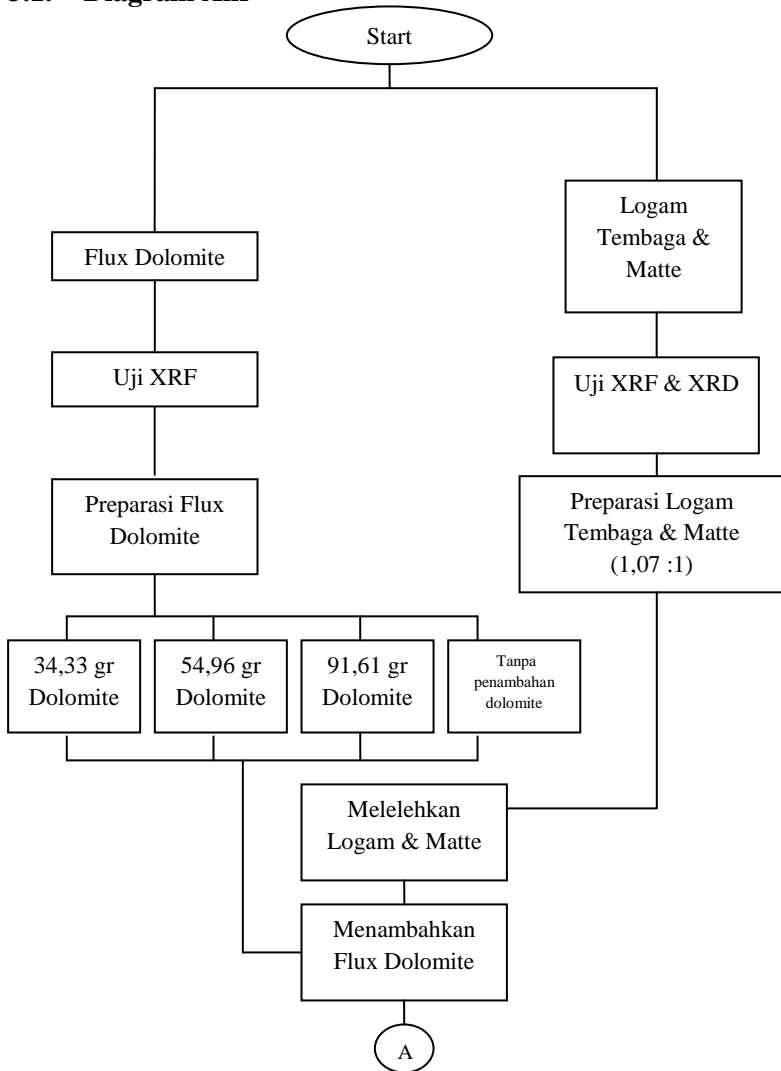


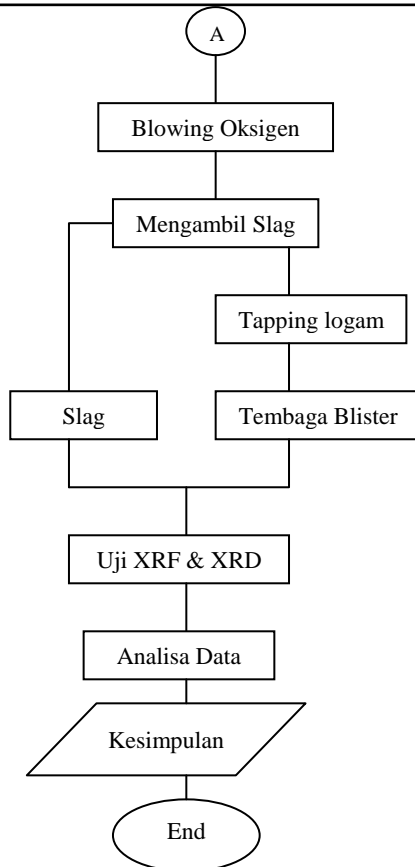
## Bab II Tinjauan Pustaka

7	Efek Kadar Magnesium Oksida pada fluiditas slag di blast furnace	Jia Shyan Shiao (2008)
8	Permodelan <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) pada Parameter Proses Pencampuran pada Pierce Smith Converter dengan Perbandingan Permodelan Fisika	Deside K. Chibwe dkk (2011)
9	Meminimalisir Kehilangan Tembaga pada Slag Dengan Penambahan Colemanite ( $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	Aydin Rusen dkk (2012)
10	Oksidasi Desulfurisasi pada Slag Tembaga	LI Lei dkk (2012)
11	Permodelan <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) pada Aliran Fluida pada Pierce Smith Converter Dengan Menggunakan Lebih Dari Satu Poin Injeksi	Aaron Almaraz (2013)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir

## 3.2. Peralatan dan Bahan

### 3.2.1. Peralatan Penelitian

#### 1. Palu Batu

Palu batu digunakan untuk menghancurkan matte, tembaga, dan limestone yang memiliki ukuran besar agar didapatkan ukuran yang lebih kecil.



Gambar 3.2 Palu Batu

2. Obeng

Obeng digunakan untuk memasang selang lance pada kompresor.



Gambar 3.3 Obeng

3. Termometer infra red

Termometer infra red digunakan untuk mengukur temperatur operasi muffle furnace dan temperatur matte dan slag.



Gambar 3.4 Termometer Infrared

4. Muffle Furnace

Muffle furnace digunakan untuk memanaskan kembali produk hasil proses smelting. Hal ini dilakukan untuk memisahkan logam tembaga dengan slag.



Gambar 3.5 Muffle Furnace





#### 5. Mesin XRD (Pan Analytical)

XRD ini berfungsi untuk mengetahui struktur kristal dari sampel. Selain itu, XRD ini digunakan untuk mengetahui komposisi (dengan analisa rietica) unsur serta senyawa mineral dan batu bara.



Gambar 3.6 Mesin Uji XRD

#### 6. Mesin XRF

XRD ini berfungsi untuk mengetahui komposisi yang terkandung dari sampel dalam persen berat. Alat ini hanya dapat mengetahui komposisi unsur dari matte, logam dan slag.



Gambar 3.7 Mesin XRF

#### 7. Cetakan Slag dan Tembaga

Cetakan digunakan untuk mencetak hasil proses converting yang berupa tembaga blister dan slag



Gambar 3.8 Cetakan Tembaga dan Slag



#### 8. Kompresor dan Lance

Kompresor dan lance ini digunakan untuk meniupkan oksigen untuk mengoksidasi unsur pengotor dari logam tembaga dan matte.



Gambar 3.9 Kompresor dan Lance

#### 9. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur berat dari tembaga, matte, dan slag.



Gambar 3.10 Timbangan Digital

#### 10. Pengambil Slag

Alat ini digunakan untuk mengambil slag pada saat pemisahan slag dengan tembaga blister.



Gambar 3.11 Pengambil slag



### 3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

#### 1. Matte

Matte merupakan tembaga hasil pengolahan Mini Blast Furnace yang mengandung 40% Cu.

Tabel 3.1 Komposisi Cu, Fe, S pada matte

Unsur	Kadar (%)
Cu	41,01
Fe	10,39
S	9,89
Ca	1,60



Gambar 3.12 Matte

#### 2. Logam Tembaga

Logam tembaga yang dipakai untuk penelitian ini masih mengandung banyak pengotor seperti besi dan sulfur. Mempunyai kemurnian tembaga sebesar 70% Cu.

Tabel 3.2 Komposisi Cu, Fe, dan S logam tembaga

Unsur	Kadar (%)
Cu	73,65
Fe	12,37
S	5,16



Gambar 3.13 Logam Tembaga



### 3. Batu Kapur

Lime stone digunakan sebagai pengikat slag pada saat proses smelting. Lime stone merupakan batu kapur (dolomite) yang mana pada temperatur tertentu akan bereaksi dengan slag yang dihasilkan pada saat berlangsungnya proses smelting mineral tembaga.



Gambar 3.14 Batu Kapur

### 4. Gas LPG

LPG digunakan sebagai bahan bakar dari muffle furnace. Sehingga, dengan memanfaatkan LPG, temperatur pada muffle furnace dapat mencapai temperatur tertentu ( $1400^{\circ}\text{C}$ ).



Gambar 3.15 LPG

### 5. Gas $\text{O}_2$

Gas  $\text{O}_2$  digunakan untuk oksidator slag pada proses converting pada muffle furnace.

## 3.3. Rancangan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, rancangan penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.



Tabel 3.3 Rancangan Studi Pengaruh Jumlah Penambahan  $\text{CaCO}_3$  (dalam rasio) Terhadap Hasil Proses Converting

No	Rasio $\text{CaO}:\text{Fe}$	Komposisi Tembaga Blister	Komposisi Slag
1	1:10		
2	1:8		
3	1:5		
4	1:3		

### 3.4. Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan langkah-langkah persiapan alat dan bahan hingga pengujian.

#### Persiapan Sampel Pengujian dan Proses Converting

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian karakterisasi awal raw material sebagai berikut :

1. Menyiapkan matte, logam tembaga menjadi ukuran yang lebih kecil dengan palu untuk karakterisasi dengan pengujian XRD dan XRF.
2. Menyiapkan flux dolomite dengan mengecilkan ukuran butir menggunakan palu untuk uji komposisi dengan pengujian XRF.
3. Sampel telah siap lalu melakukan pengujian sampel.

Pada penelitian ini dibutuhkan preparasi flux yang digunakan pada proses converting. Berikut ini adalah persiapan flux dolomite.

1. Menyiapkan batu kapur (dolomite).
2. Mengecilkan ukuran batu kapur dengan palu.
3. Menyaring batu kapur dengan ayakan.
4. Menimbang dan membagi setiap fraksi massa batu kapur yang dibutuhkan dalam proses converting.

Pada penelitian ini, Muffle Furnace disiapkan beserta raw material yang dipakai.

1. Menyiapkan Muffle Furnace dengan memanaskan hingga temperatur converting dengan pembakaran gas LPG yang dialirkan ke dalam krusibel muffle furnace.



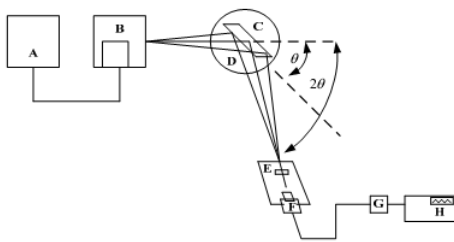
2. Memasukkan logam tembaga dan matte ke dalam muffle furnace dengan perbandingan 1,07:1 (516,9 g : 483,1 g) hingga meleleh.
3. Memasukkan flux dolomite dan mengaduk dengan penyendok hingga flux tercampur.
4. Mengalirkan atau menghembuskan udara  $O_2$  dari udara bebas selama 10 menit dengan aliran udara 12 liter/menit.
5. Menahan pemanasan sehingga terjadi pemisahan tembaga blister dengan slag.
6. Mengambil slag sehingga terlihat logam cair.
7. Menuang tembaga blister cair ke dalam cetakan.
8. Setelah slag dan tembaga blister mencapai temperatur kamar, dilakukan pengujian XRF dan XRD dan menganalisa produk converting.
9. Melakukan proses ulang dengan komposisi fraksi masa dolomite yang telah ditentukan.

### Pengujian Sampel

#### 1. Uji Fasa (XRD)

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi ( $2\theta$ ) dari suatu material. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur Kristal adalah untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji.

Karakterisasi ini dilakukan menggunakan alat difraktometer Sinar X, adapun prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh Gambar 3.30 berikut :



Gambar 3.16 Skema Uji XRD



- a. Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai sumber sinar-X (B)
- b. Sampel berbentuk pellet (C) diletakkan pada holder (D)
- c. Berkas sinar X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Apabila sampel berputar sebesar  $2\theta$  maka alat pencacah berputar sebesar  $\theta$ .
- d. Intensitas difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva terhadap jarak antara bidang d.

## 2. Uji XRF

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil ekstraksi maka dilakukan pengujian pada sampel hasil ekstraksi menggunakan XRF. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam bahan yang menggunakan metode spektrometri. Alat ini mempunyai keunggulan analisis yaitu lebih sederhana dan lebih cepat dibanding analisis dengan alat lain. Alat XRF merupakan alat uji tak merusak yang mampu menentukan kandungan unsur dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 3.17 Mesin Uji XRF

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Proses Converting Logam Tembaga dan Matte dengan Penambahan Flux Dolomite**

Ekstraksi matte dan pemurnian logam tembaga dilakukan dengan menggunakan proses converting. Matte dan logam tembaga yang masih memiliki unsur pengotor dimurnikan dengan pemanasan matte dan logam tembaga hingga menjadi lelehan ( $T=1200-1300^{\circ}\text{C}$ ) lalu dialirkan atau ditiupkan oksigen dan menambahkan flux. Pada penelitian ini, peniupan gas oksigen dilakukan dengan udara bebas dengan debit 9,22 liter/menit selama 10 menit yang memiliki komposisi 21% $\text{O}_2$  dari volume udara bebas. Peniupan oksigen bertujuan untuk mengoksidasi pengotor yang ada pada matte dan logam tembaga, yaitu Fe, S, dan lain-lain sehingga menjadi slag. Reaksi oksidasi ini bersifat eksotermal, reaksi yang mengeluarkan panas, sehingga terjadi peningkatan temperatur hingga  $1300^{\circ}\text{C}$  pada saat pengaliran oksigen.

Penambahan flux dolomite dilakukan pada saat melelehkan matte dan logam tembaga secara bertahap dan sesuai dengan variabel komposisi yang telah ditentukan, yaitu 1:3, 1:5, 1:8, dan 1:10.  $\text{CaCO}_3$  pada saat temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  akan dekomposisi menjadi  $\text{CaO}$ .  $\text{CaO}$  akan bereaksi dengan  $\text{FeS}$  dan  $\text{CuS}$  sehingga menjadi  $\text{FeO}$  dan  $\text{CuO}$ .  $\text{FeO}$  akan menjadi slag.  $\text{CuO}$  akan bereaksi kembali dengan  $\text{CuS}$  yang masing-masing belum bereaksi sehingga menjadi logam tembaga Cu dan gas sulfur  $\text{SO}_2$ . Reaksi ini disebut dengan reaksi desulfurisasi. Selain itu pada penambahan dolomite,  $\text{CaO}$  dapat mengikat slag, bereaksi dengan  $\text{FeO}$  maupun  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sehingga membentuk ikatan slag  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CaO}$ . Logam yang telah terbentuk dan dimurnikan akan terpisah dengan slag dikarenakan oleh berat jenis kedua lelehan tersebut berbeda sehingga slag dapat mudah dipisahkan dengan pengambilan slag. Proses secara detail, hasil, dan gambar akan dijelaskan pada pembahasan sub-bab IV.3 dan IV.4.





#### 4.2. Karakterisasi Logam Tembaga dan Matte

Matte merupakan sistem ternary dari Cu-Fe-S. Komposisi tembaga matte adalah campuran homogen dari sulfida tembaga(I) dan besi(II), yang disebut dengan sistem pseudobinary. (Fathi Habashi, 2007). Tembaga matte memiliki karakteristik visual yang dapat dibedakan dengan logam tembaga. Tembaga matte memiliki warna abu-abu dan campuran sedikit ungu yang diakibatkan karena CuS (kovelit) pada matte tersebut. Gambar matte dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tembaga matte

Sedangkan pada logam tembaga yang masih memiliki banyak pengotor, dapat terlihat dengan warna merah tembaga tetapi lebih kuning jika dibandingkan dengan tembaga murni. Kuning yang ada pada logam tembaga ini diakibatkan oleh unsur Sulfur yang masih terdapat pada logam tembaga. Jika unsur sulfur pada logam tembaga membentuk senyawa CuS, warna logam tembaga akan menjadi pelangi jika logam tersebut dipantulkan oleh cahaya. Warna pelangi ini memiliki karakteristik yang sama dengan matte. Logam tembaga yang masih memiliki unsur Fe di dalamnya akan berwarna lebih gelap, abu-abu seperti warna besi pada umumnya. Jika unsur besi relatif banyak pada logam tembaga, besi akan berkumpul pada titik-titik tertentu sehingga sangat mudah dibedakan antara besi dan tembaga pada satu spesimen tersebut. Logam tembaga yang dipakai pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Logam tembaga

Berikut ini adalah hasil uji XRF pada logam tembaga dan matte.

Tabel 4.1. Hasil uji XRF logam tembaga dan matte unsur Cu, Fe, dan S

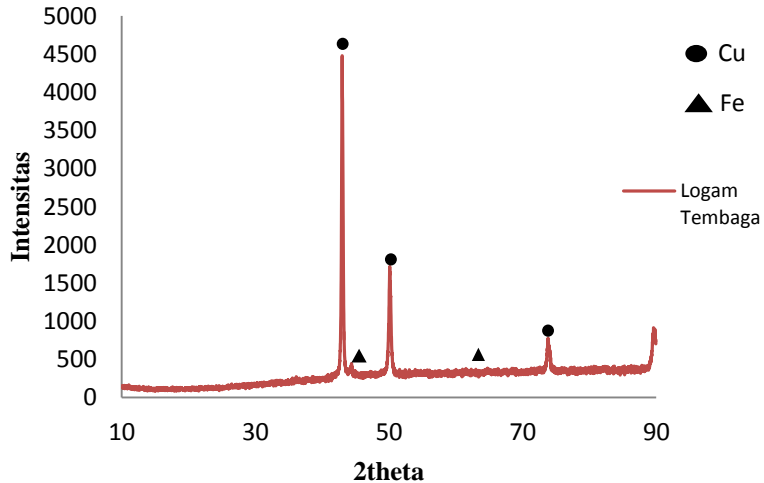
	%Cu	%Fe	%S	%Ca
Logam Tembaga	73,65	12,37	5,16	-
Matte	41,01	10,93	9,89	1,60

Pada hasil pengujian XRF, logam tembaga Cu masih memiliki kadar yang rendah yaitu 73,65% dan matte masih memiliki kadar Cu sebesar 41,01%. Sedangkan Fe pada logam tembaga cukup tinggi yaitu 12,37%. Sedangkan pada matte kadar Fe sebesar 10,93%. Unsur pada matte bernilai 9,89%, sulfur pada matte lebih tinggi dibandingkan dengan logam tembaga, hal ini terjadi karena sulfur masih banyak berikatan dengan Cu membentuk CuS (kovelit). Untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada matte dan logam tembaga, perlu dilakukan pengujian XRD. Pada tembaga matte terdapat unsur Ca di dalamnya. Unsur Ca ini mungkin terjadi karena pada proses smelting yang menggunakan kapur sebagai pengikat slagnya. Unsur Ca yang ada pada matte dihitung sebagai kadar Ca yang ada pada matte untuk menentukan rasio CaO:Fe yang akan ditentukan dalam penelitian ini.

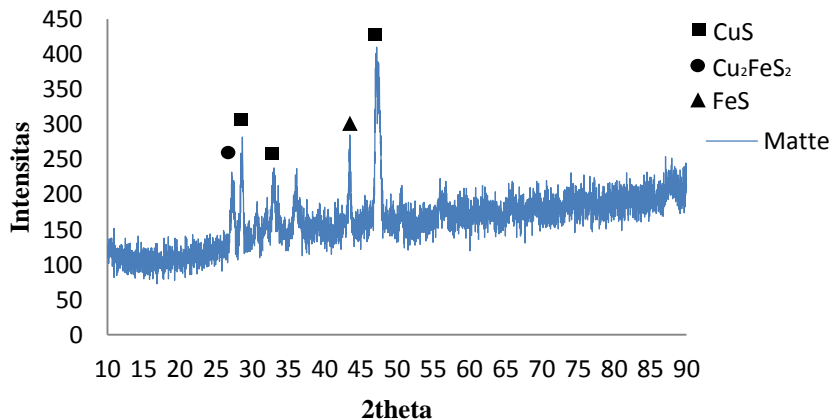
Selain pengujian XRF yang dapat mengetahui unsur pada sampel. Diperlukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa yang



terjadi pada kedua sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian XRD dilakukan dengan PANalytical. Hasil pengujian XRD pada logam tembaga dan matte dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3. Hasil uji XRD logam tembaga



Gambar 4.4. Hasil uji XRD matte



Tabel 4.2 Daftar fase yang terbentuk pada logam tembaga dan matte

No	Bahan	Fasa yang Terbentuk	
		Senyawa/Unsur	PDF Card
1	Logam Tembaga	Cu Fe	(03-065-9743) (01-087-0722)
2	Matte	CuS FeS Cu <sub>2</sub> FeS <sub>2</sub>	(01-076-6653) (01-074-7399) (01-075-4063)

Pada hasil pengujian XRD logam tembaga fase yang terbentuk adalah Cu dan Fe. Hal ini dapat dibuktikan dari peak yang terdapat pada gambar 4.3 yang menunjukkan peak yang menonjol adalah Cu dan Fe. Cu ditunjukkan pada posisi 2theta 44,44; 50,14; dan 73,86. Sedangkan Fe ditunjukkan pada posisi 2 theta sebesar 45,87. Sedangkan pada matte fase yang terbentuk pada gambar 4.4 adalah CuS, FeS, dan jug Cu<sub>2</sub>FeS<sub>2</sub>. CuS ditunjukkan pada posisi peak 2theta sebesar 28,44; 28,64; dan 47,04. Sedangkan FeS ditunjukkan pada posisi peak 2theta sebesar 43,46 dan Cu<sub>2</sub>FeS<sub>2</sub> yang ditunjukkan oleh posisi peak 2theta sebesar 28,64.

### 4.3. Pengaruh Penambahan Dolomite terhadap Peningkatan Kadar Cu pada Tembaga Blister

Hasil uji XRF logam tembaga blister dengan beberapa komposisi penambahan kapur dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.3. Hasil uji XRF unsur Cu, Fe, dan S dengan variasi komposisi penambahan dolomite pada tembaga blister (1 = 1:10, 2 = 1:8, 3 = 1:5, 4 = 1:3)

	1	2	3	4
%Cu	85,15	92,23	94,39	97,37
%Fe	6,53	0,13	0,075	0,098
%S	4,17	3,82	0,83	3,94



Pengujian XRF ini menggunakan Niton XLt2. Dari data pada tabel 4.3 dapat diketahui bahwa kadar Cu meningkat sesuai dengan penambahan kapur. Peningkatan kadar Cu dapat dicapai hingga 7,08-12,22%, hal ini tergantung pada komposisi penambahan kapur. Untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur sesuai dengan komposisi dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.5. Grafik peningkatan kadar %Cu pada tembaga blister

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa terjadinya peningkatan kadar Cu sebanding dengan penambahan kapur. Pada tembaga blister 1 tidak ditambahkan kapur, tetapi pada matte memiliki kadar CaO sebesar 1,136% (11,36 gram dalam berat). Proses converting tembaga blister 1 memiliki kadar Cu sebesar 85,15%Cu. Variabel ini memiliki kadar Cu yang paling rendah dibandingkan variabel lainnya. Pada tembaga blister 2 memiliki kadar Cu sebesar 92,23%, peningkatan ini sangat signifikan dibandingkan dengan peningkatan kadar Cu dari variabel lain. Peningkatan terjadi sebesar 7,08%. Pada tembaga blister 2, penambahan kapur dilakukan sebanyak 34,33 gram sehingga perbandingan CaO dengan FeO menjadi 1:8. Tembaga blister 3 memiliki kadar Cu 94,39%, variabel ini terjadi peningkatan kadar Cu sebesar 2,16%. Peningkatan kadar Cu ini relatif paling rendah



dibandingkan penambahan variabel jumlah kapur lainnya. Penambahan kapur dilakukan sebanyak 54,94 gram. Pada tembaga blister 4 memiliki kadar Cu yang paling tinggi, yaitu sebesar 97,37%. Kadar Cu terjadi peningkatan sebesar 2,98%. Peningkatan relatif rendah jika dibandingkan dengan tembaga blister 2. Pada tembaga blister 4 penambahan kapur dilakukan sebanyak 91,61 gram. Penambahan ini cukup tinggi dibandingkan variabel penambahan lain, tetapi peningkatan kadar Cu tidak begitu signifikan.

Dari keempat variabel penambahan kapur pada proses converting, terjadi peningkatan yang cukup tinggi yaitu sebesar 12,22%Cu. Hal ini dapat terjadi karena pada penambahan kapur terjadi proses desulfurisasi dan pengikatan slag. Proses desulfurisasi terjadi dikarenakan oleh senyawa CaO yang bereaksi dengan CuS sehingga menjadi CuO dan CaS. CaO didapatkan dari dekomposisi dolomite. Penurunan viskositas slag dapat mengakibatkan difusi sulfur yang baik (Babich, 2008). Pada penambahan kapur, CaO akan menurunkan viskositas dari slag, sehingga sulfur dalam matte akan berdifusi menuju slag. Lalu CuO dapat bereaksi dengan CuS yang masih terdapat pada matte, reaksi ini membentuk Cu. Selain penambahan peniupan oksigen juga dilakukan sehingga Sulfur pada CuS teroksidasi oleh O<sub>2</sub> sehingga membentuk logam murni Cu dan gas SO<sub>2</sub>. Reaksi ini dapat terjadi dan dapat dibuktikan oleh nilai energi bebas Gibbs masing-masing reaksi.



Energi Gibbs pada masing-masing reaksi bernilai negatif. Hal ini menandakan reaksi pembentukan Cu bersifat spontan. Nilai energi bebas Gibbs akan lebih mudah terjadi jika nilai energinya semakin negatif. Energi bebas Gibbs berguna untuk mengukur suatu reaksi akan terjadi spontan atau tidak. Nilai negatif  $\Delta G^\circ$  mengindikasikan reaksi akan terjadi spontan,



sedangkan nilai positif mengindikasikan reaksi tidak akan terjadi. (Gaskell, 1973). Jika dilihat dari nilai energi bebas Gibbs, oksidasi CuS dengan O<sub>2</sub> lebih mudah terjadi dibandingkan desulfurisasi. Namun, jika reaksi desulfurisasi CuS telah terjadi, senyawa CuO dapat mudah bereaksi dengan CuS sehingga membentuk logam murni Cu.

Kadar Fe dan S dalam tembaga blister mengalami penurunan kadar. Pada tembaga blister 1, kadar Fe yang ada adalah sebesar 6,53% sedangkan kadar S bernilai 4,17%, nilai ini merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan tembaga blister lainnya. Tembaga blister 2 memiliki kadar Fe sebesar 0,13% dan S sebesar 3,82%. Hal ini merupakan penurunan kadar Fe yang cukup signifikan, yaitu sebesar 6,4%. Sedangkan pada unsur mengalami penurunan 0,35%. Pada tembaga blister 3 memiliki kadar Fe sebesar 0,075% dan S sebesar 0,83%. Kadar Fe mengalami penurunan sebesar 0,055% dan S sebesar 2,99%. Penurunan Fe tidak begitu signifikan tetapi nilai kadar Fe di dalam logam tembaga blister sudah sangat kecil. Sedangkan pada penurunan kadar S cukup signifikan dibandingkan dengan penurunan kadar S tembaga blister lainnya. Pada tembaga blister 4 memiliki kadar Fe sebesar 0,098% dan S sebesar 3,94%. Kadar Fe dan S meningkat jika dibandingkan dengan tembaga blister 3. Kadar Fe meningkat sebesar 0,023% sedangkan S meningkat sebesar 3,11%.

Secara umum, kadar Fe dan S mengalami penurunan tetapi pada tembaga blister 4 kadar Fe dan S meningkat, hal ini mungkin terjadi karena CaO yang bereaksi dengan CuS lebih banyak dibandingkan dengan FeS. Sulfur pada FeS juga dioksidasi oleh oksigen. Hal ini dapat dibuktikan dengan perbandingan nilai energi bebas Gibbs pada reaksi desulfurisasi.

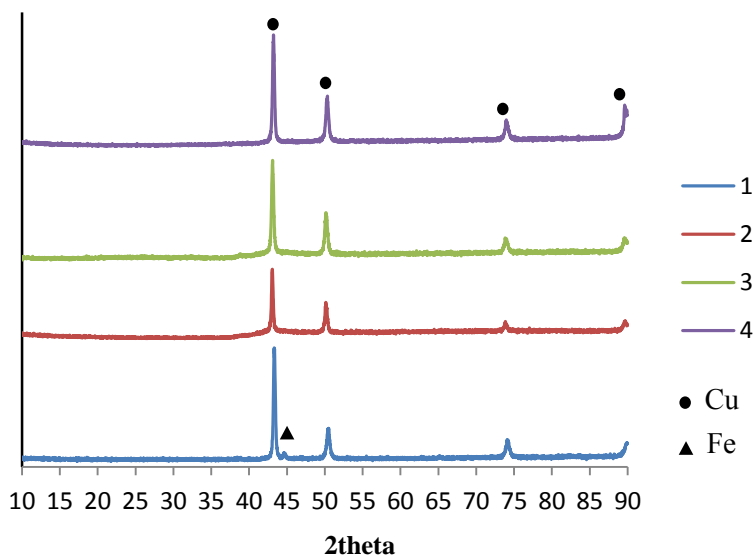


Dari perbandingan nilai energi bebas Gibbs, dapat dilihat bahwa reaksi desulfurisasi dari CuS dapat lebih mudah terjadi



dibandingkan dengan FeS. Nilai energi bebas Gibbs dari CuS lebih negatif dibandingkan dengan FeS. CuS yang telah bereaksi dengan CaO akan menjadi CuO dan akan bereaksi dengan CuS sehingga membentuk logam murni Cu. Sehingga nilai kadar Cu lebih tinggi dibandingkan dengan tembaga blister lainnya.

Untuk mengetahui fasa yang terjadi pada logam tembaga blister diperlukan pengujian XRD dengan PANalytical. Setiap logam tembaga diuji XRD dan dapat dilihat perbandingan di gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Uji XRD Logam Tembaga Blister (1 = 1:10, 2 = 1:8, 3 = 1:5, 4 = 1:3)

Pada hasil uji XRD, logam tembaga blister mengandung fasa tunggal Cu yang ditunjukkan pada posisi peak yang hampir sama yaitu pada posisi 2θ 43,29; 50,51; dan 74,09. Logam tembaga blister 1 (tanpa penambahan kapur) masih memiliki peak Fe yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Peak Fe memiliki posisi peak yang bernilai sebesar 46,86. Tembaga blister 2, 3 dan 4





memiliki sedikit peak Fe yang posisinya sama dengan tembaga blister 1, tetapi tidak terlalu menonjol. Hal ini menandakan bahwa Fe pada tembaga blister 2, 3, dan 4 memiliki struktur kristal yang tidak teratur.

Tabel 4.4. Daftar fase tembaga blister hasil uji XRD

No	Penambahan dolomite	Fasa yang Terbentuk	
		Senyawa/Unsur	PDF Card
1	Tanpa Penambahan	Cu Fe	(03-065-9743) (01-087-0722)
2	34,33 g	Cu	(03-065-9743)
3	54,94 g	Cu	(03-065-9743)
4	116,7 g	Cu	(03-065-9743)

#### 4.4. Pengaruh Jumlah Penambahan dolomite terhadap Komposisi Slag

Hasil uji XRF slag dengan beberapa komposisi penambahan kapur dapat dilihat pada tabel 4.5.

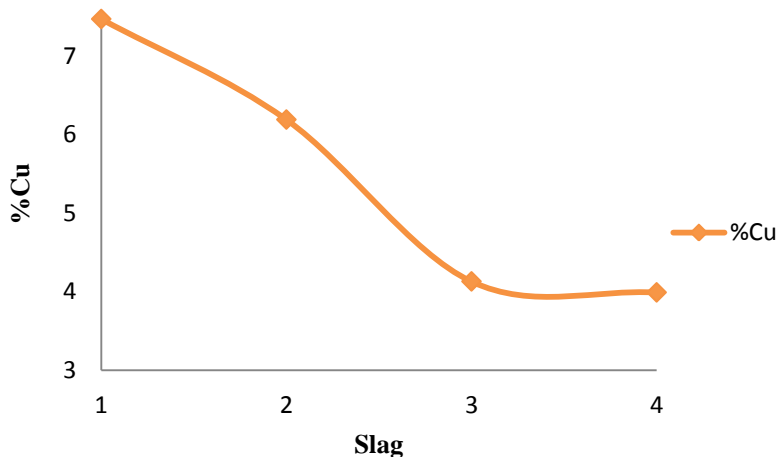
Tabel 4.5. Hasil uji XRF unsur Cu, Fe, dan S dengan variasi komposisi penambahan dolomite pada slag (1 = 1:10, 2 = 1:8, 3 = 1:5, 4 = 1:3)

	1	2	3	4
%Cu	7,47	6,19	4,13	3,99
%Fe	20,24	27,64	27,76	30,55
%Ca	-	4,7	4,83	8,84

Pada hasil pengujian XRF slag, didapatkan unsur Cu yang ada pada slag dan unsur-unsur pengotornya, seperti Fe. Kadar Cu yang terdapat pada slag mengalami penurunan sesuai dengan kenaikan jumlah penambahan kapur. Pada slag 1, Cu yang terdapat pada slag sebesar 7,47%, nilai ini yang paling tinggi jika dibandingkan dengan variabel penambahan kapur lainnya. Pada slag 2 kadar Cu yang terkandung pada slag sebesar 6,19%. Presentase kadar ini mengalami penurunan dibandingkan dengan



slag 1. Penurunan kadar Cu dari slag 1 ke slag 2 sebesar 1,28%. Penurunan ini relatif rendah jika dibandingkan dengan slag lainnya. Slag 3 masih memiliki kadar Cu sebesar 4,13%. Slag 3 memiliki kadar Cu yang cukup rendah. Pada proses converting, Cu yang terkandung dalam slag memiliki kisaran nilai dari 4% hingga 8% (Davenport, 2002). Penurunan kadar Cu dalam slag ke-3 ini sebanyak 2,09%. Penurunan kadar Cu dalam slag ini yang paling besar di antara slag lainnya. Pada slag 4 memiliki kadar Cu sebesar 3,99%. Perubahan nilai kadar Cu dalam slag dari slag 3 ke slag 4 tidak begitu signifikan, yaitu sebanyak 0,23%. Kadar Cu dalam slag 4 mendekati nilai 4%, nilai minimum dari kadar Cu yang umumnya ada pada slag.



Gambar 4.7. Grafik penurunan kadar %Cu pada Slag

Dapat dilihat pada gambar 4.7, penurunan kadar Cu terjadi sebanding dengan jumlah flux dolomite yang ditambahkan pada proses converting. Penurunan cukup signifikan pada slag 1 menuju slag 2, dan slag 2 menuju slag 3. Namun pada slag 3 menuju slag 4 kadar Cu tidak menurun secara signifikan. Penurunan kadar Cu dalam slag ini diakibatkan oleh jumlah CaO yang telah bereaksi dengan CuS dengan reaksi desulfurisasi.

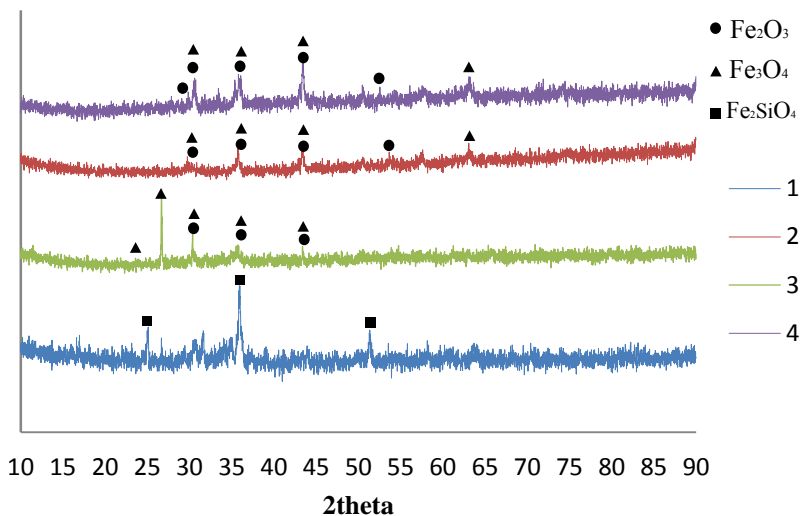


Semakin banyak kapur yang ditambahkan, semakin banyak  $\text{CaO}$  yang bereaksi dengan  $\text{CuS}$  hingga membentuk  $\text{CuO}$ , dan  $\text{CuO}$  akan bereaksi kembali dengan  $\text{CuS}$  sehingga membentuk logam  $\text{Cu}$  dan sisa gas  $\text{SO}_2$ . Reaksi ini dapat terjadi karena energi bebas Gibbs yang bernilai negatif yang ditunjukkan pada persamaan reaksi  $\text{CuO}$  dengan  $\text{CuS}$  (4.4). Penurunan pada slag 4 merupakan batas reaksi yang terjadi antara  $\text{CuO}$  dan  $\text{CuS}$  sehingga penurunan kadar  $\text{Cu}$  ini tidak begitu signifikan. Davenport dalam bukunya *Extractive Metallurgy of Copper* mengatakan tembaga dalam slag dapat diturunkan jumlahnya dengan beberapa cara, yaitu salah satunya menurunkan viskositas slag. Menurunkan viskositas slag yaitu salah satunya dengan cara menghindari keberadaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada slag. Magnetit bersama dengan silika akan meningkatkan viskositas dari slag yang menyebabkan tembaga dalam slag akan meningkat walaupun silika umum digunakan sebagai flux pada proses converting (Aydin Rusen dkk, 2011). Dengan berdasarkan kedua sumber di atas, tembaga dalam slag akan menurunkan dikarenakan viskositas slag pada sistem slag kalsium memiliki viskositas yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem slag silika.

Berbeda dengan kadar  $\text{Cu}$ , kadar  $\text{Fe}$  terjadi peningkatan pada setiap peningkatan jumlah kapur. Kadar  $\text{Fe}$  pada slag 1 memiliki nilai sebesar 20,24%. Slag 1 memiliki kadar  $\text{Fe}$  yang paling rendah dibandingkan slag lainnya. Dilihat pada gambar 4.8 dan tabel 4.6, fase yang terbentuk pada slag 1 merupakan slag ferrite silicate ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ). Slag ini memiliki ikatan senyawa antara besi yang berbentuk senyawa  $\text{FeO}$  dengan silika  $\text{SiO}_2$  yang ada pada slag. Lalu, pada slag 2 memiliki nilai kadar  $\text{Fe}$  sebesar 27,64%. Slag 2 terjadi peningkatan dibandingkan dengan slag 1. Peningkatan yang terjadi sebesar 7,4%, peningkatan ini merupakan peningkatan yang sangat signifikan dibandingkan dengan peningkatan kadar  $\text{Fe}$  slag lainnya. Fase yang terbentuk pada slag 2 adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Kedua fasa ini umumnya terjadi pada slag. Tetapi fasa hematit akan lebih mudah terbentuk pada slag dikarenakan oleh penambahan kapur.



Pada hasil uji XRF pada tabel 4.5, slag 2 terdapat kadar Ca yaitu sebesar 4,7%, hal ini menandakan bahwa Ca yang berada pada slag berbentuk CaO yang akan mengikat slag  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan akan stabil dengan sistem slag *Calcium Ferrite Slag* ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ ).



Gambar 4.8. Grafik hasil uji XRD slag (1 = 1:10, 2 = 1:8, 3 = 1:5, 4 = 1:3)

Tabel 4.6 Daftar fase yang terbentuk pada slag

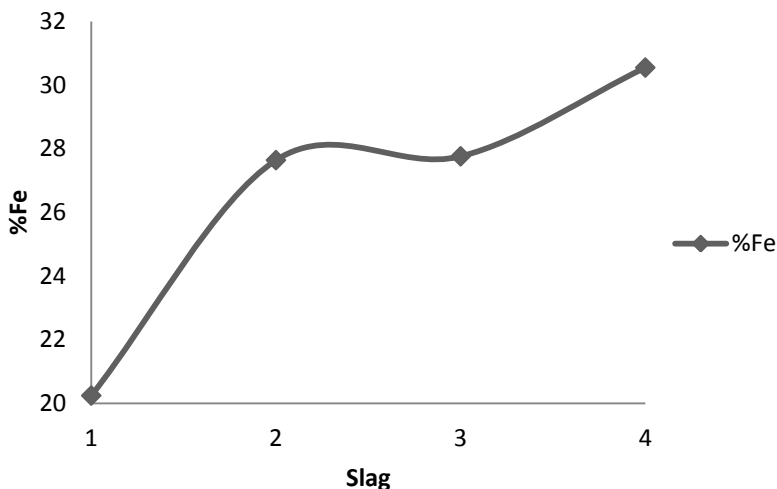
No	Penambahan $\text{CaCO}_3$	Fasa yang Terbentuk	
		Senyawa/Unsur	PDF Card
1	Tanpa Penambahan	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	(00-031-0649)
2	34,33 g	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_3\text{O}_4$	(01-078-6916) (01-076-0956)
3	54,94 g	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_3\text{O}_4$	(01-078-6916) (01-076-0956)
4	116,7 g	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_3\text{O}_4$	(01-078-6916) (01-076-0956)



Slag 3 memiliki kadar Fe sebesar 27,76%. Peningkatan kadar Fe dalam slag tidak begitu signifikan pada slag ke-3. Peningkatan hanya terjadi sebesar 0,12%. Kadar Ca pada slag 3 sebanyak 4,83%. Peningkatan kadar Ca tidak begitu signifikan yaitu sebesar 0,13%. Tetapi pada hasil uji XRD, slag 3 terbentuk fasa magnetit dan hematit yang seimbang, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 peak yang menonjol menandakan banyaknya fase hematit dan magnetit yang terjadi pada slag 3. Hal ini menandakan bahwa penambahan kapur akan meningkatkan banyaknya jumlah fase hematit. Jika dibandingkan dengan slag 2 yang masih memiliki banyak fase magnetit pada posisi peak 2theta pada 26,6.

Pada slag 4, kadar Fe memiliki nilai sebesar 30,55%. Slag ini memiliki kadar Fe yang paling tinggi. Peningkatan kadar Fe dalam slag cukup signifikan yaitu sebesar 2,79%. Kadar Ca dalam slag 4 juga meningkat, peningkatan terjadi sebanyak 4,01%. Kadar Ca dalam slag 4 adalah 8,84%. Peningkatan ini sangat signifikan. Pada slag 4, fase yang terbentuk sama seperti slag 3, yaitu hematit dan magnetit. Namun, perbedaan slag 4 dengan slag 3 adalah banyaknya fase hematit yang terjadi. Hal ini dapat dibuktikan dengan peak yang terlihat pada gambar 4.8 dengan. Peak hematit berjumlah lebih banyak dibandingkan dengan magnetit. Perbedaan slag 4 dengan slag 3 adalah peak hematit memiliki posisi pada 2theta sebesar 29,84 dan 50,58.

Hasil uji XRF dan XRD pada slag menandakan bahwa peningkatan kadar Ca pada slag mempengaruhi pembentukan sistem slag kalsium dengan susunan  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ . Kadar Fe pada slag 1 hingga slag 4 mengalami peningkatan yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Peningkatan kadar Fe dalam slag berhubungan pada penurunan kadar Fe pada tembaga blister. Penurunan kadar Fe tembaga blister dapat ditandai dengan peningkatan kadar Fe dalam slag. Hal ini terjadi karena reaksi desulfurisasi, oksidasi, dan pembentukan slag sehingga Fe yang ada pada logam tembaga dan matte dapat bereaksi membentuk slag.



Gambar 4.9 Peningkatan kadar Fe dalam slag

Slag Fe yang dapat membentuk FeO maupun  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat diikat oleh senyawa CaO yang didapatkan dari dekomposisi kapur. Hal ini dapat dibuktikan oleh nilai energi bebas Gibbs pada masing-masing reaksi tersebut yang ditunjukkan sebagai berikut.



Seluruh reaksi pembentukan slag mempunyai nilai energi bebas Gibbs yang negatif. Hal ini menandakan bahwa pada temperatur  $1300^\circ\text{C}$  ( $1573\text{K}$ ) reaksi ini dapat terjadi secara spontan. FeS yang dioksidasi oleh oksigen akan membentuk slag FeO dan gas buang  $\text{SO}_2$ . FeS juga akan terdesulfurisasi dengan CaO sehingga membentuk slag FeO dan CaS. Pada jumlah oksigen tertentu, proses oksidasi FeS akan menghasilkan magnetit. Dengan tingkat energi sesuai perhitungan,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan lebih mudah terbentuk karena memiliki nilai energi bebas Gibbs yang lebih negatif. Setelah fase magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) terbentuk, CaO akan



bereaksi dengan magnetit sehingga membentuk sistem slag kalsium ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ ). Pengikatan  $\text{CaO}$  dengan magnetit mudah terjadi karena memiliki energi bebas Gibbs yang relatif lebih negatif dibandingkan dengan reaksi lainnya. Maka pada penelitian ini, slag yang terbentuk pada proses converting adalah sistem slag kalsium. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan diagram kesetimbangan ternary  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} / \text{SiO}_2$  gambar 2.9. Pada gambar 2.9 sistem slag kalsium pada temperatur  $1300^\circ\text{C}$  memiliki komposisi homogen yang lebih stabil dibandingkan dengan besi silika. Komposisi lelehan slag yang homogen tersusun atas besi, wustite, magnetite, kapur, dan dikalsium ferit. Lelehan homogen ini dapat setimbang dengan tekanan parsial oksigen  $10^{-11}$  hingga 1 atm (Rajneet Kaur, 2007).

Pada hasil XRF slag 1 memiliki perbandingan  $\text{Ca}:\text{Fe}$  sebesar 1:6. Pada slag 2 memiliki perbandingan sebesar 1:6. Sedangkan pada slag 3 memiliki perbandingan yang berbeda yaitu sebesar 1:3. Dari unsur  $\text{Ca}$  yang ada pada hasil XRF diasumsikan sebagai senyawa  $\text{CaO}$  dan  $\text{Fe}$  diasumsikan sebagai  $\text{FeO}$ . Dari asumsi tersebut dapat dilihat dengan diagram kesetimbangan ternary pada gambar 2.10  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{FeO}$ , diagram tersebut menunjukkan kesetimbangan fasa yang terjadi pada temperatur converting yang digunakan dalam penelitian ini  $1150^\circ\text{C} - 1250^\circ\text{C}$ . Dengan rasio perbandingan slag 2 dan 3 yang memiliki nilai 1:6 jika dijadikan presentase dan diasumsikan  $\text{SiO}_2$  memiliki jumlah 4% sama dengan hasil XRF, slag 2 dan 3 memiliki presentase  $\text{CaO}$  sebesar 12%,  $\text{FeO}$  sebesar 76% dan  $\text{SiO}_2$  sebesar 11%. Sedangkan pada slag 4 yang memiliki rasio perbandingan sebesar 1:3, presentase  $\text{CaO}$  memiliki nilai sebesar 20,3%,  $\text{FeO}$  memiliki presentase sebesar 70% dan  $\text{SiO}_2$  memiliki presentase sebesar 9%. Dengan presentase ini dapat dilihat pada diagram ternary gambar 2.9. Komposisi slag 2 dan 3 memiliki  $\text{CaO}$  14% dan  $\text{FeO}$  sebesar 86% memiliki fasa kesetimbangan wustite. Begitu pula pada slag 4, jika dilihat pada diagram kesetimbangan gambar 2.9. Pada slag 4 ini membentuk fasa kesetimbangan wustite. Hal ini terjadi karena kadar  $\text{Fe}$  yang



masih berlebih pada slag. Kadar Fe yang berlebih mengakibatkan fasa wustite yang berlebih. Namun, pada pengujian XRD fasa yang terjadi adalah fasa magnetit, hal ini terjadi karena pada saat oksidasi sulfur pada besi, terjadi oksigen berlebih sehingga fasa yang terjadi adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Untuk menjadikan FeS menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dibutuhkan oksigen sebanyak 1,5 kali lebih banyak dibandingkan mengoksidasi FeS hingga menjadi FeO. Pada saat peniupan oksigen, tahapan yang pertama terjadi adalah reduksi sulfur pada besi untuk menjadi wustite. Lalu proses tahapan kedua oksigen akan mereduksi sulfur pada tembaga. (Fathi Habashi, 2007) Namun, energi bebas Gibbs yang dibutuhkan oksidasi sulfur pada tembaga lebih besar nilainya dibandingkan dengan oksidasi sulfur pada besi hingga menjadi magnetit. Hal ini dapat dilihat pada persamaan energi bebas Gibbs (4.2) dan (4.10). Dengan nilai energi bebas Gibbs pembentukan magnetit lebih negatif dibandingkan dengan reduksi sulfur pada tembaga sulfida, maka pembentukan magnetit akan terjadi terlebih dahulu.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian pengaruh penambahan flux dolomite pada proses converting dari tembaga matte menjadi blister diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan flux dolomite dapat meningkatkan kadar kemurnian tembaga blister hasil converting. Semakin banyak kapur yang ditambahkan pada proses converting, semakin murni kadar Cu yang didapat. Penambahan flux yang terbaik adalah perbandingan rasio CaO:Fe sebesar 1:3 (penambahan 116,7 gram kapur) karena rasio tersebut menghasilkan kadar kemurnian Cu sebesar 97,37%
2. Penambahan flux dolomite berpengaruh terhadap kadar Cu dalam slag dan sistem slag yang terjadi. Dengan penambahan kapur pada proses converting, kadar Cu dalam slag akan semakin berkurang. Dengan penambahan flux dolomite dengan rasio CaO:Fe terbesar, 1:3, kadar Cu dalam slag menurun hingga 3,99%.
3. Slag yang terbentuk pada penelitian ini adalah sistem slag kalsium. Di mana CaO akan mengikat magnetit pada slag sehingga membentuk slag calcium-ferrite.
4. Dari penelitian yang dilakukan, penambahan yang terbaik adalah dengan rasio 1:3, tetapi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

#### **5.2. Saran**

Dari penelitian ini terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan, berikut ini adalah saran dalam penelitian ini :

1. Skala penelitian yang dilakukan perlu diperbesar dan dibandingkan dengan skala industri, untuk membantu industri pengolahan mineral di Indonesia.



2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada jumlah penambahan kapur agar mendapatkan titik optimal penggunaan kapur pada proses converting.
3. Pengukuran viskositas slag yang harus diukur karena penambahan kapur dapat menurunkan viskositas slag.

## DAFTAR PUSTAKA

- Babich, A., Senk, D., Gudenau, W.H., Mavrommatis, K.Th., (2008), *Iron Making Textbook*, 1<sup>st</sup> edition, Institut fur Eisenhutenkunde der RWTH Aachen, Aachen.
- Brantley, S. L., 2003, "Reaction Kinetics of Primary Rock-Forming Minerals Under Ambient Conditions," In Drever, J. I. (Ed)., *Treatise on Geochemistry* Vol. 5 (Holland, H.D., Turekian, K.K, Exec. Eds.) Elsevier, pp. 73 - 117.
- Chakrabati, D.J., Laughin, D.E., 1983. "The Cu-S (Copper-Sulfur) System". *Bulletin of Alloy Phase Diagram*, 4, 254-271.
- Davenport, W. G., King, M., Schlesiner, M., Biswas, A.K., (2002), *Extractive Metallurgy of Copper*, 4<sup>th</sup> Edition, Tucson, Pergamon
- Dunn, J.G., Ginting, A.R., dan Connor, B.O., 1964. A Thermoanalytical Study of The Oxidation of Chalchocite. *Journal of Thermal Analysis*, 41, 671-686.
- Gaskell, R. D. 1973. Introduction To Metallurgical Thermodynamics. Tokyo: McGraw – Hill Kogakusha, LTD.
- Haver, R. R., and Wang, M. M., 1971, "Recovery of copper, iron, and sulphur from chalcopyrite concentrates using a ferric chloride leach," *J. Metals*, 23 (2), 25 - 29.
- Horath, L., (2001), *Fundamentals of materials Science for Technologist: Properties, Testing, and laboratory Exercises*, 2<sup>nd</sup> Edition, New Jersey, Prentice Hall.
- International Copper Study Group (2012), *The World Copper Factbook 2012*, ICSG, Lisbon.
- Kaur, Rajneet, (2007), *FCS Slag For Continous Copper Converting*, Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), Rio Tinto.
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcopyrite*, Version 1.
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcocite*, Version 1.

Mineral Data Publishing (2001-2005), *Malachite*, Version 1.

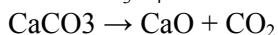
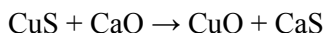
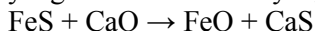
Rosenqvist, T., (2004), *Principles of Extractive Metallurgy*, 2<sup>nd</sup> edition, Tapir Academic Press, Trondheim.

Sarangi, B. dan Sarangi, A., (2011), *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*, 1<sup>st</sup> Edition, PHI Learning Private Ltd, New Delhi.

## LAMPIRAN

### Perhitungan Stoikiometri pada Proses Converting

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses converting terdapat beberapa reaksi kimia yang melibatkan proses oksidasi, dekomposisi, dan desulfurisasi. Reaksi yang terjadi pada penelitian ini adalah dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  sebagai flux, desulfurisasi FeS dan CuS dengan CaO, dan pengikatan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit) dengan CaO pada slag. Dengan perhitungan stoikiometri, penelitian ini dapat mengetahui jumlah perbandingan massa flux yang ditambahkan dengan senyawa yang bereaksi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Berdasarkan hasil XRF dengan perbandingan massa Fe, Cu, dan S. Pada penelitian ini menggunakan logam tembaga dan matte dengan kadar sulfur masing-masing 5,16% dan 9,89%. Dari masing-masing kadar Sulfur, maka jumlah CuS dan FeS dapat diketahui dengan cara sebagai berikut.

- Logam

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(CuS)} = 32/95,5 = 0,334$$

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(FeS)} = 32/88 = 0,363$$

$$\text{Total CuS dan FeS} = 0,334 + 0,363 = 0,697$$

$$\begin{aligned} \text{\%CuS dalam logam tembaga} &= (0,334/0,697) \times 5,16\% \\ &= 2,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\%FeS dalam logam tembaga} &= (0,363/0,697) \times 5,16\% \\ &= 2,73\% \end{aligned}$$

- Matte

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(CuS)} = 32/95,5 = 0,334$$

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(FeS)} = 32/88 = 0,363$$

$$\text{Total CuS dan FeS} = 0,334 + 0,363 = 0,697$$

$$\text{\%CuS dalam logam tembaga} = (0,334/0,697) \times 9,89\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,64\% \\
 \% \text{FeS dalam logam tembaga} &= (0,363/0,697) \times 9,89\% \\
 &= 5,24\%
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah CuS dan FeS dalam masing-masing raw material, dihitung jumlah masing-masing sesuai dengan fraksi massa yang dipakai dalam penelitian yaitu 1,07:1 (51,69% : 48,31%).

$$\begin{aligned}
 \text{Total \% CuS} &= (2,42 \times 51,69/100) + (4,64 \times 48,31/100) \\
 &= 3,49\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total \% FeS} &= (2,73 \times 51,69/100) + (5,24 \times 48,31/100) \\
 &= 3,94\%
 \end{aligned}$$

Masing-masing CuS dan FeS dapat dihitung jumlah massa dalam setiap kali percobaan dengan cara.

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CuS} &= 3,49\% \times 1000 \text{ g} \\
 &= 34,9 \text{ g}
 \end{aligned}$$

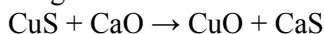
$$\begin{aligned}
 \text{Massa FeS} &= 3,94\% \times 1000 \text{ g} \\
 &= 39,4 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Setiap massadapat dihitung jumlah molnya yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CuS} &= 34,9/95,5 \\
 &= 0,36
 \end{aligned}$$

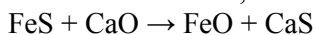
$$\begin{aligned}
 \text{Mol FeS} &= 39,4/88 \\
 &= 0,44
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan mol, lalu dimasukkan ke masing-masing reaksi dengan CaO



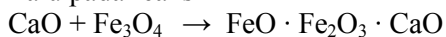
Maka mol CaO yang digunakan dalam reaksi ini adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CaO} &= (1/1) \times 0,36 \\
 &= 0,36 \text{ mol}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Mol CaO} &= (1/1) \times 0,44 \\
 &= 0,44 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Lalu pada reaksi



Diasumsikan kadar total Fe pada logam tembaga dan matte membentuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Jumlah total Fe dalam logam dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Total \% Fe} &= (12,3 \times 51,69/100) + (10,39 \times 48,3/100) \\ &= 11,36\%\end{aligned}$$

Diasumsikan Fe terbentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  maka total massa akhir yaitu

$$\begin{aligned}\text{Massa Fe}_3\text{O}_4 &= 11,36\% \times 1000 \text{ g} \\ &= 113,6 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Fe}_3\text{O}_4 &= 113,6/232 \\ &= 0,48 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol CaO} &= (1/1) \times 0,48 \\ &= 0,48 \text{ mol}\end{aligned}$$

Maka total mol CaO yang digunakan adalah

$$\begin{aligned}\text{Total mol CaO} &= 0,36 + 0,44 + 0,48 \\ &= 1,28 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total massa CaO} &= 1,28 \times 56 \\ &= 71,6 \text{ g}\end{aligned}$$

Dari hasil XRF batu kapur mengandung 42,46% CaO, maka batu kapur yang dibutuhkan yaitu

$$\begin{aligned}\text{Total massa CaCO}_3 &= (100/42,46) \times 71,6 \\ &= 168,81 \text{ g}\end{aligned}$$

Maka secara stoikiometri total kapur yang dibutuhkan yaitu 168,81 gram.

Selain perhitungan secara stoikiometri, penggunaan CaO dalam converting pada rasio CaO:Fe sebesar 1:3 (20% : 55%) menurut Davenport, Extractive Metallurgy of Copper (2002). Dari data XRF dapat dihitung perbandingan antara CaO dan Fe.

- Matte

$$\begin{aligned}\text{Ca/CaO} &= 40/56 \\ &= 0,71\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CaO} &= 0,71 \times 1,16 \\ &= 1,136\%\end{aligned}$$

Maka converting tanpa penambahan kapur memiliki perbandingan CaO:Fe sebesar 1:10 (1,136% : 11,36%).



Pada penelitian ini menggunakan 4 variabel dengan masing-masing perhitungan sebagai berikut.

- Rasio 1:8

$$\begin{aligned}\text{CaO/Fe} &= 1/8 \\ \text{CaO/11,67} &= 1/8 \\ \text{CaO} &= 1,45\% \\ \text{Massa CaO} &= 1,45 \% \times 1000 \\ &= 14,58 \text{ g} \\ \text{Massa CaCO}_3 &= (100/42,46) \times 14,58 \\ &= 34,33 \text{ g}\end{aligned}$$

- Rasio 1:5

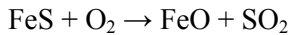
$$\begin{aligned}\text{CaO/Fe} &= 1/5 \\ \text{CaO/11,67} &= 1/5 \\ \text{CaO} &= 2,334\% \\ \text{Massa CaO} &= 2,334 \% \times 1000 \\ &= 23,34 \text{ g} \\ \text{Massa CaCO}_3 &= (100/42,46) \times 23,34 \\ &= 54,96 \text{ g}\end{aligned}$$

- Rasio 1:3

$$\begin{aligned}\text{CaO/Fe} &= 1/3 \\ \text{CaO/11,67} &= 1/3 \\ \text{CaO} &= 3,89\% \\ \text{Massa CaO} &= 3,89 \% \times 1000 \\ &= 38,9 \text{ g} \\ \text{Massa CaCO}_3 &= (100/42,46) \times 38,9 \\ &= 91,61 \text{ g} \\ &= 116,7 \text{ g}\end{aligned}$$

Pada proses *conveerting*, peniupan udara O<sub>2</sub> dilakukan untuk mengoksidasi unsur S pada senyawa CuS dan FeS. Jumlah oksigen yang dipakai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{CuS} + \text{O}_2 &\rightarrow \text{Cu} + \text{SO}_2 \\ \text{Mol CuS} &= 34,9/95,5 \\ &= 0,36 \text{ mol} \\ \text{Mol O}_2 &= (1/1) \times 0,36 \\ &= 0,36 \text{ mol}\end{aligned}$$



$$\text{Mol FeS} = 39,4/88$$

$$= 0,44 \text{ mol}$$

$$\text{Mol O}_2 = (1/1) \times 0,44$$

$$= 0,44 \text{ mol}$$

$$\text{Total mol O}_2 = 0,36 + 0,44$$

$$= 0,80 \text{ mol}$$

Untuk mencari total volume  $\text{O}_2$  yang dibutuhkan menggunakan persamaan gas ideal

$$P V = n R T$$

Dengan persamaan gas ideal, tekanan dicari dengan persamaan

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

$P_1$  dan  $T_1$  menggunakan tekanan atmosfer, dan  $T_2$  menggunakan temperatur  $1300^\circ\text{C}$  ( $1573\text{K}$ ) sehingga

$$1 \text{ atm} / 298 \text{ K} = P_2 / 1573 \text{ K}$$

$$P_2 = 5,27 \text{ atm}$$

Maka

$$5,27 \times V = 0,8 \times 0,082 \times 1573$$

$$V_{\text{O}_2} = 19,38 \text{ liter}$$

Volume tersebut menggunakan komposisi 100%  $\text{O}_2$  sedangkan pada proses converting ini menggunakan udara bebas dengan kompresor.

$$V_{\text{O}_2} = (100/21) \times 19,38$$

$$V_{\text{O}_2} = 92,2 \text{ liter}$$

Menentukan debit untuk proses converting

$$Q = 92,2 \text{ liter} / 10 \text{ menit}$$

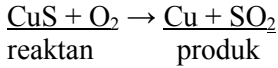
$$Q = 9,22 \text{ liter/menit}$$

### **Perhitungan Energi Gibbs pada Proses Converting**

Pada reaksi converting ditinjau energi bebas gibbs untuk menentukan reaksi terjadi spontan atau tidak. Dengan sifat termodinamika dari setiap elemen pada reaksi yang terjadi pada proses converting. Dapat dicari nilai energi bebas gibbs yang terjadi pada proses converting temperatur  $1300^\circ\text{C}$  ( $1573 \text{ K}$ ) dengan persamaan.

$$\Delta G_{1573} = \Delta H_{1573} - T \cdot \Delta S_{1573}$$

### Reaksi pembentukan tembaga



$$\begin{aligned} \Delta H(\text{Cu})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Cu}) dT \\ &= 9,31 + \int_{298}^{1365} (22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T) dT + \\ &\quad \int_{1365}^{1573} (31,38) dT - 12,97 \\ &= 9,31 + 29,72 + 6,527 - 12,97 \\ &= 32,58 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT \\ &= -296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - \\ &\quad 3 T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\ &= -296,85 + 66,436 \\ &= -230,414 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{CuS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuS}) dT \\ &= -53,1 + \int_{298}^{1573} C_p(-125,13 + 0,0567 T + \\ &\quad 0,8422 T^{-1/2}) dT \\ &= -53,1 - 94,78 \\ &= -147,88 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\ &= 0 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-5} T - \\ &\quad 3 T - 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\ &= 0 + 42,7 \\ &= 42,7 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} \Delta H_{1573} &= (32,58 - 230,414) - (-147,88 + 42,7) \\ &= -92,98 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Lalu mencari nilai  $\Delta S$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{Cu})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Cu})}{T} dT \\ &= 0,033 + \int_{298}^{1365} \frac{22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T}{T} dT + \\ &\quad \int_{1365}^{1573} \frac{31,38}{T} dT \\ &= 0,033 + 0,101 + 0,00445 \\ &= 0,138 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\ &= 0,248 + \\ &\quad \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^5 T^{-2}}{T} dT \\ &= 0,248 + 0,082 \\ &= 0,330 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{CuS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuS})}{T} dT \\ &= 0,066 - 0,098 \\ &= -0,032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT \\ &= 0,205 + \\ &\quad \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^5 T^{-2}}{T} dT \\ &= 0,205 + 0,054 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

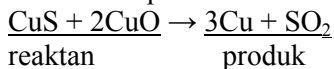
Maka

$$\begin{aligned}\Delta S_{1573} &= (0,138 + 0,330) + 0,032 - 0,25 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta G_{1573}$  dapat dicari dengan

$$\begin{aligned}\Delta G_{1573} &= -92,98 - 1573 \times 0,25 \\ &= -486,23 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Lalu reaksi pembentukan tembaga



$$\begin{aligned}
3\Delta H(\text{Cu})_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Cu})dT) \\
&= 3(9,3 + \int_{298}^{1365} (22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T)dT \\
&\quad + \int_{1365}^{1573} (31,38)dT - 12,97) \\
&= 3(9,31 + 29,7286 + 6,527 - 12,97) \\
&= 3(32,595) \text{ kJ/mol} \\
&= 97,785 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2)dT \\
&= -296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - \\
&\quad 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2)dT \\
&= -296,85 + 66,436 \\
&= -230,414 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{CuS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuS})dT \\
&= -53,1 + \int_{298}^{1573} C_p(-125,13 + 0,0567T + \\
&\quad 0,8422T^{1/2})dT \\
&= -53,1 - 94,78 \\
&= -147,88 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2\Delta H(\text{CuO})_{1573} &= 2(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuO})dT) \\
&= 2(-157,31 + \int_{298}^{1573} (60,18)dT) \\
&= 2(-157,31 + 76,7) \\
&= -161 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}
\Delta H_{1573} &= (97,785 - 230,414) - (-147,88 - 161) \\
&= 175 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3\Delta S(\text{Cu})_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Cu})}{T}dT) \\
&= 3(0,033 + \int_{298}^{1365} \frac{22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T}{T}dT + \\
&\quad \int_{1365}^{1573} \frac{31,38}{T}dT) \\
&= 3(0,033 + 0,101 + 0,00445) \\
&= 0,414 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\
&= 0,248 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\
&= 0,248 + 0,082 \\
&= 0,330 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{CuS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuS})}{T} dT \\
&= 0,066 - 0,098 \\
&= -0,032 \\
2\Delta S(\text{CuO})_{1573} &= 2(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuO})}{T} dT) \\
&= 2(42,6 + \int_{298}^{1573} \frac{60,18}{T} dT) \\
&= 2(42,6 + 100,118) \\
&= 0,285 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

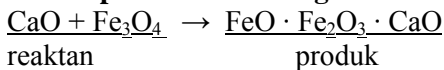
Maka

$$\begin{aligned}
\Delta S_{1573} &= (0,414 + 0,330) + 0,032 - 0,285 \\
&= 0,49 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta G_{1573}$  dapat dicari dengan

$$\begin{aligned}
\Delta G_{1573} &= 175 - 1573 \times 0,49 \\
&= -595 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

### Reaksi pembentukan slag



Pada reaksi ini  $\Delta G_T$  dapat dicari dengan mencari nilai  $\Delta H_T$  dan  $\Delta S_T$  setiap elemen dengan persamaan

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}) dT \\
&= -478,2 + \int_{298}^{1573} (291,8) dT \\
&= -106,2 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H(\text{CaO})_{1573} &= -635 + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaO})dT \\ &= -635 + \int_{298}^{1573} (56.7)dT \\ &= -562,8 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)dT \\ &= -1118,4 + \int_{298}^{900} (297,4)dT + \int_{900}^{1573} (199,3)dT \\ &= -805,3 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = -1261,9 \text{ kJ/mol}$$

Lalu mencari nilai  $\Delta S$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{291,8}{T} dT \\ &= 0,52 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{CaO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaO})}{T} dT \\ &= 0,038 + \int_{298}^{1573} \frac{56,7}{T} dT \\ &= 0,13 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{T} dT \\ &= 0,14 + \int_{298}^{900} \frac{297,4}{T} dT + \int_{900}^{1573} \frac{199,3}{T} dT \\ &= 0,14 + 0,43 \text{ kJ/molK} \\ &= 0,57 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

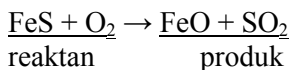
Maka

$$\Delta S_{1573} = 0,18 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga nilai  $\Delta G_{1573}$  dapat dicari dengan

$$\begin{aligned}\Delta G_{1573} &= -1261,9 - 1573 \times 0,18 \\ &= -1545,04 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Lalu reaksi



$$\Delta H(\text{FeO})_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO})dT$$

$$\begin{aligned}
&= -264,4 + \int_{298}^{1573} (60,7) dT \\
&= -187,008 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT \\
&= -296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\
&= -296,85 + 66,436 \\
&= -230,414 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT \\
&= -100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\
&\quad + \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\
&\quad \int_{1436}^{1573} (195,6) dT \\
&= 91,58 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\
&= 0 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-5} T - 3 T - 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\
&= 0 + 42,7 \\
&= 42,7 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = -551,68 \text{ kJ/mol}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{FeO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeO})}{T} dT \\
&= 0,06 + \int_{298}^{1573} \frac{64,07}{T} dT \\
&= 0,16 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\
&= 0,248 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2}{T} dT \\
&= 0,248 + 0,082
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= 0,330 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT \\
&= 0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\
&\quad + \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT \\
&= 0,28 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT \\
&= 0,205 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\
&= 0,205 + 0,054 \\
&= 0,25 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

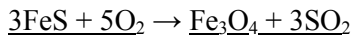
Maka

$$\Delta S_{1573} = -0,04 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
\Delta G_{1573} &= -551,68 + 1573 \times 0,04 \\
&= -488,76 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Lalu reaksi



reaktan

produk

$$\begin{aligned}
3\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT) \\
&= 3(-100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\
&\quad + \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\
&\quad \int_{1463}^{1573} (195,6) dT) \\
&= 274,74 \text{ kJ/mol} \\
5\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= 5(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT) \\
&= 50 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - \\
&\quad 1,67 \times 10^{-5} T^2) dT \\
&= 5(0 + 42,7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 213.5 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4) dT \\
&= -1118,4 + \int_{298}^{900} (297,4) dT + \int_{900}^{1573} (199,3) dT \\
&= -805,3 \text{ kJ/mol} \\
3\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT) \\
&= 3(-296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT) \\
&= 3(-296,85 + 66,436) \\
&= -691,2 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H_{1573} &= -1984.7 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
3\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT) \\
&= 3(0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\
&\quad + \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT) \\
&= 3(0,28) \\
&= 0.84 \text{ kJ/molK} \\
5\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= 5(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT) \\
&= 5(0,205 + \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2}{T} dT) \\
&= 5(0,205 + 0,054) \\
&= 1,25 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{T} dT \\
&= 0,14 + \int_{298}^{900} \frac{297,4}{T} dT + \int_{900}^{1573} \frac{199,3}{T} dT \\
&= 0,14 + 0.43 \text{ kJ/molK} \\
&= 0,57 \text{ kJ/molK} \\
3\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 3(0,248 + \\
&\int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2}{T} dT) \\
&= 3(0,248 + 0,082) \\
&= 0,990 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

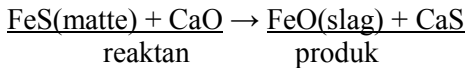
Maka

$$\Delta S_{1573} = -0.53 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
\Delta G_{1573} &= -1984.7 + 1573 \times 0.53 \\
&= -1151.01 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

### Reaksi (desulfurisasi)



$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{FeO})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO}) dT \\
&= -264,4 + \int_{298}^{1573} (60,7) dT \\
&= -187,008 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CaS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaS}) dT \\
&= -482,4 + \int_{298}^{1573} 56,2 dT \\
&= -410,74 \\
\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT \\
&= -100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\
&\quad + \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\
&\quad \int_{1436}^{1573} (195,6) dT \\
&= 91,58 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CaO})_{1573} &= -635 + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaO}) dT \\
&= -635 + \int_{298}^{1573} (56.7) dT \\
&= -562,8 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = 125,78 \text{ kJ/mol}$$

Lalu mencari nilai  $\Delta S$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{FeO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeO})}{T} dT \\ &= 0,06 + \int_{298}^{1573} \frac{64,07}{T} dT \\ &= 0,16 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{CaS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaS})}{T} dT \\ &= 0,056 + \int_{298}^{1573} \frac{56,2}{T} dT \\ &= 0,14 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT \\ &= 0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\ &\quad + \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT \\ &= 0,28 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{CaO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaO})}{T} dT \\ &= 0,038 + \int_{298}^{1573} \frac{56,7}{T} dT \\ &= 0,13 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

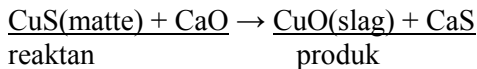
Maka

$$\Delta S_{1573} = 0,11 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga nilai  $\Delta G_{1573}$  dapat dicari dengan

$$\Delta G_{1573} = -47,25 \text{ kJ/mol}$$

Lalu reaksi



$$\begin{aligned}\Delta H(\text{CuS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuS}) dT \\ &= -53,1 + \int_{298}^{1573} C_p(-125,13 + 0,0567T + \\ &\quad 0,8422T^{1/2}) dT \\ &= -53,1 - 94,78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -147,88 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CaO})_{1573} &= -635 + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaO}) dT \\
&= -635 + \int_{298}^{1573} (56,7) dT \\
&= -562,8 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CuO})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuO}) dT \\
&= -157,31 + \int_{298}^{1573} (60,18) dT \\
&= -157,31 + 76,7 \\
&= -80,5 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CaS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaS}) dT \\
&= -482,4 + \int_{298}^{1573} 56,2 dT \\
&= -410,74 \\
\Delta H_{1573} &= 219,44 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{CuS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuS})}{T} dT \\
&= 0,066 - 0,098 \\
&= -0,032 \\
\Delta S(\text{CaO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaO})}{T} dT \\
&= 0,038 + \int_{298}^{1573} \frac{56,7}{T} dT \\
&= 0,13 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{CuO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuO})}{T} dT \\
&= 42,6 + \int_{298}^{1573} \frac{60,18}{T} dT \\
&= 42,6 + 100,118 \\
&= 0,142 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{CaS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaS})}{T} dT \\
&= 0,056 + \int_{298}^{1573} \frac{56,2}{T} dT \\
&= 0,14 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

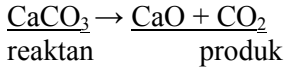
Maka

$$\Delta S_{1573} = 0.18 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\Delta G_{1573} = -66.8 \text{ kJ/mol}$$

### Reaksi (dekomposisi $\text{CaCO}_3$ )



$$\begin{aligned} \Delta H(\text{CaO})_{1573} &= -635 + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaO}) dT \\ &= -635 + \int_{298}^{1573} (56.7) dT \\ &= -562,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{CO}_2)_{1573} &= -393,5 + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CO}_2) dT \\ &= -393,5 + \int_{298}^{1573} (44,14 + 9,04 \times 10^{-5} T - 8,58 \times 10^{-5} T^2) dT \\ &= -328,77 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{CaCO}_3)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CaCO}_3) dT \\ &= -1207,12 + \int_{298}^{1573} (130,54) dT \\ &= -1040.6 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573}(\text{reaksi I}) = 149,03 \text{ kJ/mol}$$

Lalu mencari nilai  $\Delta S$

$$\begin{aligned} \Delta S(\text{CaO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaO})}{T} dT \\ &= 0,038 + \int_{298}^{1573} \frac{56,7}{T} dT \\ &= 0,13 \text{ kJ/molK} \\ \Delta S(\text{CO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CO}_2)}{T} dT \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,21 + \int_{298}^{1573} \frac{44,14 + 9,04 \times 10^{-3} T - 8,58 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\
&= 0,29 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{CaCO}_3)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CaCO}_3)}{T} dT \\
&= 0,092 + \int_{298}^{1573} \frac{130,54}{T} dT \\
&= 0,12 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

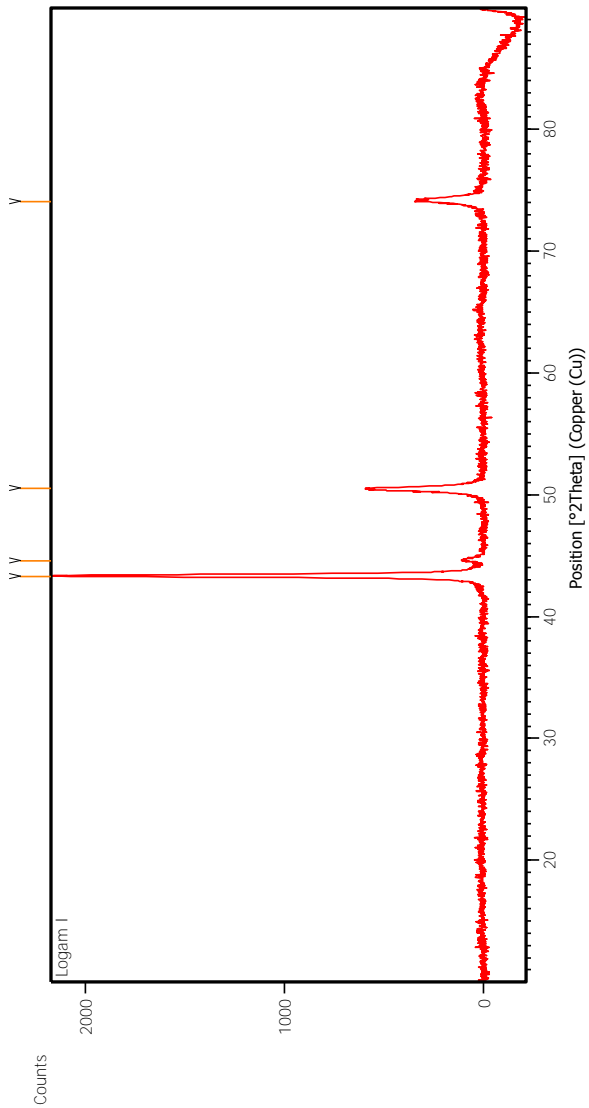
Maka

$$\Delta S_{1573} = 0,28 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga nilai  $\Delta G_{1573}$  dapat dicari dengan

$$\Delta G_{1573} = -291,41 \text{ kJ/mol}$$

Hasil Uji XRD Tembaga Blister 1 tanpa penambahan kapur

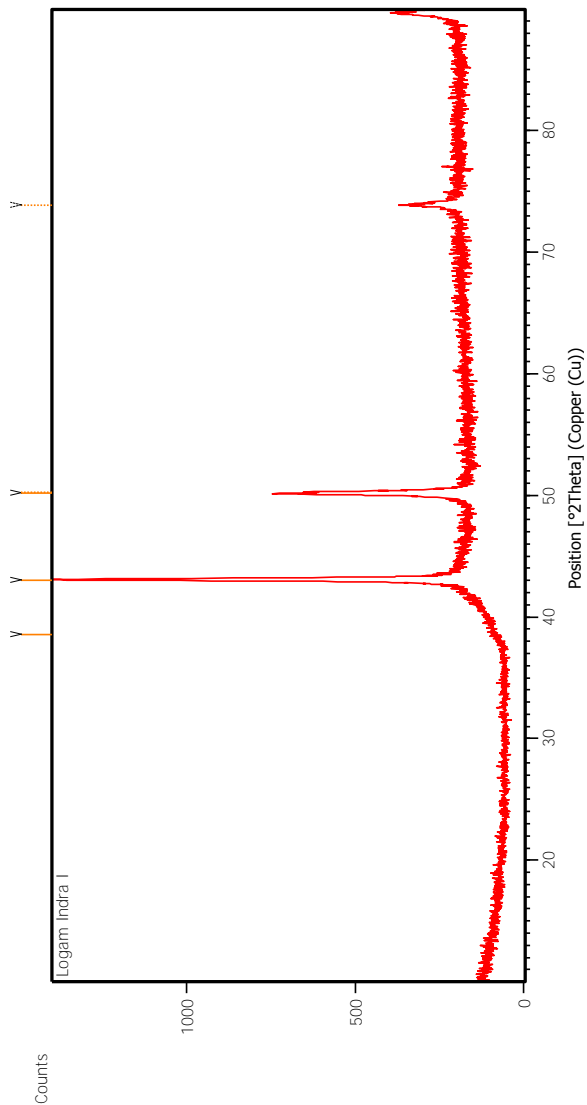




**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2957	1999.16	0.2175	2.08982	100.00
44.5967	87.76	0.2007	2.03183	4.39
50.5163	583.24	0.3011	1.80675	29.17
74.0987	327.98	0.1338	1.27956	16.41

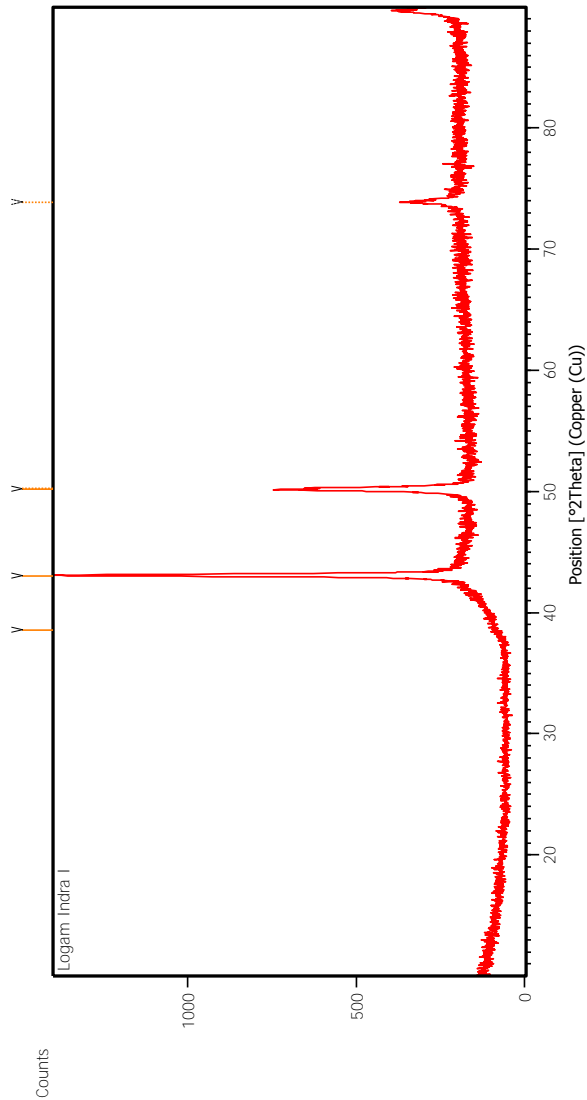
**Hasil Uji XRD Tembaga Blister 2 penambahan kapur 34,33 gram**



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2 $\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 $\theta$ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.5798	8.03	0.8029	2.33371	0.68
43.0386	1182.66	0.1673	2.10171	100.00
50.1659	555.91	0.0816	1.81704	47.01
50.2844	485.62	0.0612	1.81754	41.06
73.8882	139.10	0.2856	1.28162	11.76

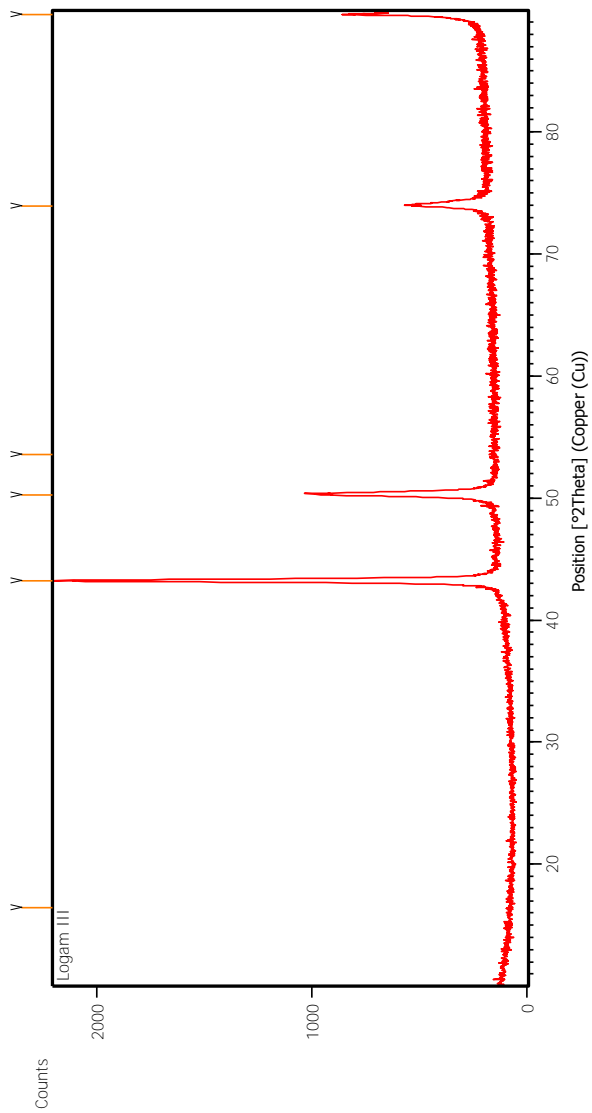
**Hasil Uji XRD Tembaga Blister 3 penambahan kapur 54,94 gram**



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.5666	10.90	0.8029	8.37246	0.60
43.1050	1808.77	0.2040	2.09689	100.00
43.2116	1378.50	0.0816	2.09716	76.21
50.1595	778.33	0.3672	1.81726	43.03
73.8677	261.83	0.1632	1.28192	14.48

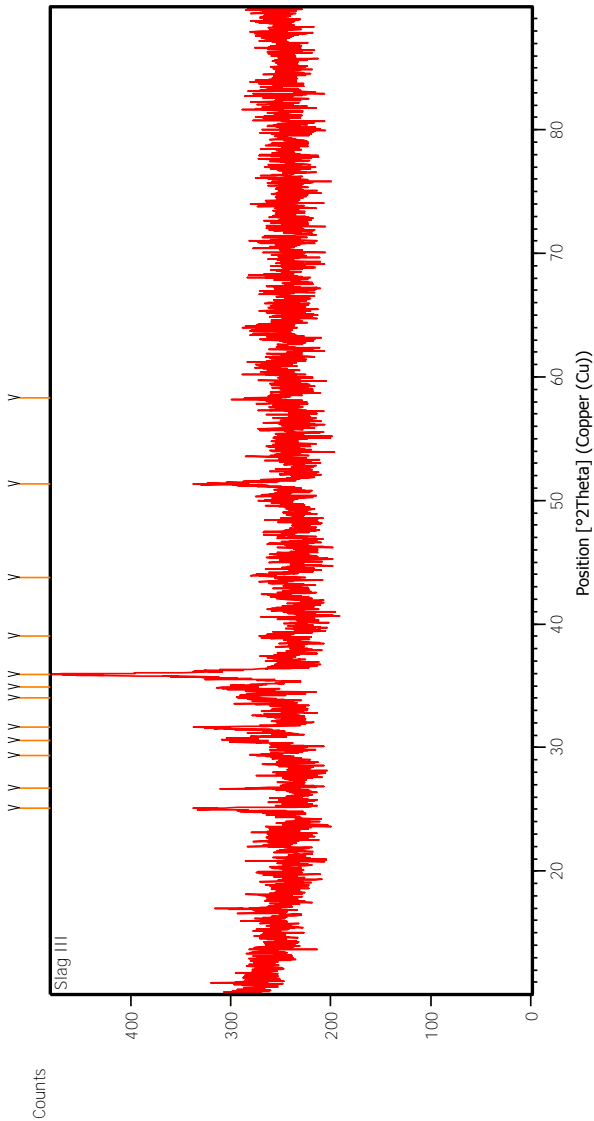
**Hasil Uji XRD Tembaga Blister 4 penambahan kapur 116,7 gram**



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.4284	17.97	0.1004	5.39593	0.89
43.2543	2010.29	0.1673	2.09172	100.00
50.2644	781.15	0.3346	1.81522	38.86
53.5894	8.13	0.6691	1.71017	0.40
73.9563	333.80	0.1338	1.28167	16.60
89.6046	591.40	0.1224	1.09315	29.42

Hasil Uji XRD Slag 1 tanpa penambahan kapur

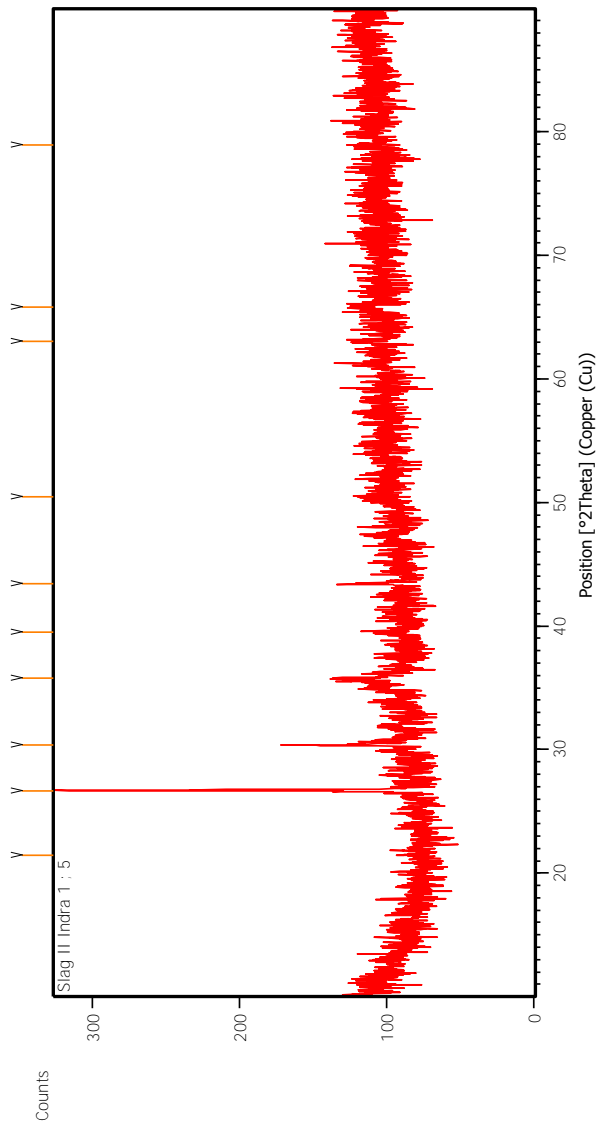




**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2 $\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 $\theta$ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.0926	93.76	0.2007	3.54897	42.67
26.6994	46.35	0.1004	3.33892	21.09
29.3385	28.57	0.4015	3.04431	13.00
30.5884	56.44	0.4015	2.92270	25.69
31.6442	91.98	0.2007	2.82756	41.86
34.0491	46.08	0.4015	2.63315	20.97
34.9105	55.16	0.4015	2.57013	25.10
35.9069	219.75	0.1673	2.50106	100.00
39.0224	25.70	0.4015	2.30826	11.70
43.7573	21.10	0.8029	2.06884	9.60
51.3563	80.26	0.2676	1.77916	36.52
58.2923	31.78	0.4015	1.58291	14.46

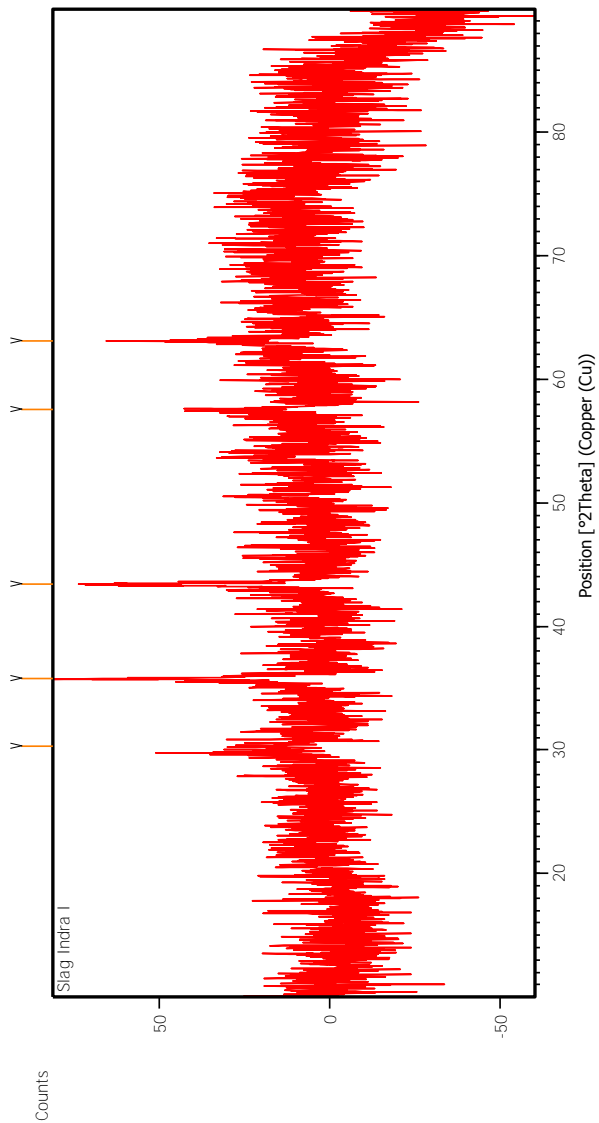
Hasil Uji XRD Slag 2 penambahan kapur 34,33 gram



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4559	18.50	0.1171	4.14157	7.75
26.6691	238.52	0.0669	3.34264	100.00
30.3493	83.28	0.0836	2.94518	34.92
35.7492	37.65	0.4015	2.51173	15.78
39.5155	15.68	0.4015	2.28058	6.57
43.4243	22.00	0.1673	2.08393	9.22
50.4535	10.47	0.8029	1.80885	4.39
63.0108	15.39	0.3346	1.47526	6.45
65.7957	15.00	0.5353	1.41940	6.29
78.9328	5.54	0.4684	1.21288	2.32

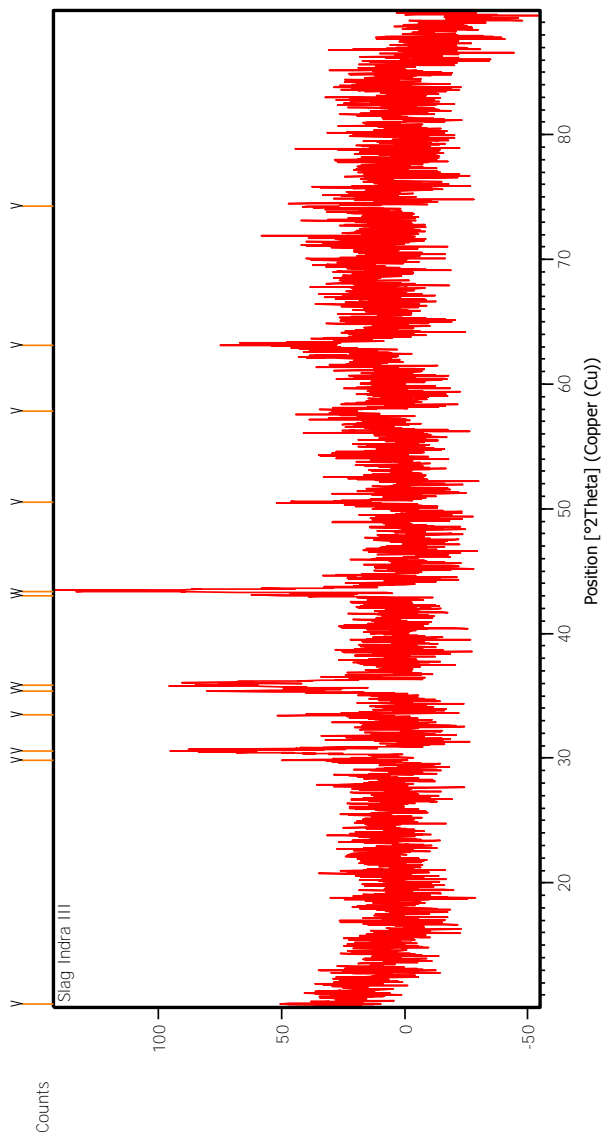
Hasil Uji XRD Slag 3 penambahan kapur 54,94 gram



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.3074	13.26	0.9368	2.94915	20.50
35.7661	60.83	0.1004	2.51058	94.04
43.4208	64.69	0.2342	2.08409	100.00
57.5842	27.27	0.4015	1.60067	42.15
63.1168	27.67	0.3346	1.47303	42.78

Hasil Uji XRD Slag 4 penambahan kapur 116,7 gram



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2 $\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 $\theta$ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.2543	9.21	0.4015	8.62671	7.74
29.8471	33.33	0.2007	2.99358	28.01
30.5587	70.90	0.2342	2.92547	59.58
33.4654	33.78	0.1004	2.67773	28.39
35.3732	77.70	0.1004	2.53756	65.30
35.8230	79.77	0.1673	2.50672	67.05
43.0263	47.87	0.1338	2.10228	40.23
43.3743	118.98	0.2007	2.08622	100.00
50.5288	38.25	0.1673	1.80634	32.15
57.8252	22.41	0.4015	1.59457	18.84
63.1383	40.93	0.5353	1.47258	34.40
74.2878	17.91	0.4015	1.27677	15.05

## Hasil pengujian XRF batu kapur

PT Agrofarm Nusa Raya  
Jl. Ponorogo-Madiun KM 4 (Jl. Industri)  
Babadan Ponorogo  
Jawa Timur



### S1 Report

Name: Kapur Gresik No.: 80 Date: 1/31/2014 Time: 2:54:00 PM  
Duration: 70.0 s  
Application: GeoChem General  
Method: DualMining  
Alloys: Bi (0.0)

Element		Concentration [%]	Stddev. [%]
Magnesium Oxide	MgO	18.47	2.77
Phosphorus Oxide	P2O5	0.49	0.08
Sulfur	S	0.00	0.00
Calcium Oxide	CaO	42.46	0.14
Titanium Oxide	TiO2	0.02	0.02
Manganese Oxide	MnO	0.06	0.04
Iron Oxide	Fe2O3	0.46	0.05
Copper	Cu	0.02	0.01
Zinc	Zn	0.01	0.00
Tin	Sn	0.06	0.04
Lead	Pb	0.00	0.00

This analysis was performed with a Bruker handheld XRF analyzer.

THIS REPORT WAS CREATED WITH A SOFTWARE VERSION THAT IS INTENDED FOR  
BRUKER REPRESENTATIVES AND DISTRIBUTORS ONLY!

Operator

1/31/2014

S1 Data Tool. (C) by ROFA Laboratory & Process Analyzers

Page 1 of 1



# Hasil Uji XRF logam tembaga raw material

PT Agrofarm Nusa Raya  
Jl. Ponorogo-Madiun KM 4 (Jl. Industri)  
Babadan Ponorogo  
Jawa Timur



## S1 Report

Name: 3x3 Cu No.: 66 Date: 1/31/2014 Time: 2:19:00 PM

Duration: 80.0 s

Application: Alloys

Method: MultiMatrix4015

Alloys: C630-Al Brz (0.0)  
C623-Al Brz (0.0)  
C955-Al Brz (0.0)

Element		Concentration [%]	Stddev. [%]
Aluminium	Al	1.49	0.27
Silicon	Si	5.51	0.18
Phosphorus	P	0.10	0.03
Sulfur	S	5.16	0.06
Titanium	Ti	0.05	0.01
Iron	Fe	12.37	0.07
Cobalt	Co	0.07	0.01
Nickel	Ni	1.13	0.03
Copper	Cu	73.65	0.17
Tungsten	W	0.43	0.01
Lead	Pb	0.03	0.01

This analysis was performed with a Bruker handheld XRF analyzer.

THIS REPORT WAS CREATED WITH A SOFTWARE VERSION THAT IS INTENDED FOR  
BRUKER REPRESENTATIVES AND DISTRIBUTORS ONLY!

Operator

1/31/2014

S1 Data Tool. (C) by ROFA Laboratory & Process Analyzers

Page 1 of 1

## Hasil Uji XRF tembaga matte raw material



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
**LABORATORIUM MIPA TERPADU**  
Jl. Ir. Sutarni 36A, Kentingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Nama konsumen : Salsabilah  
Jenis analisis : XRF  
Aplikasi/preparasi : EQUA Powder/Mylar  
Jenis sampel : Serbuk  
Kode sampel : Matte1 Salsa  
Nama operator : Ari Wisnugroho  
Hari/Tanggal analisis : Rabu, 11 Juni 2014  
Kontak : Dr. Sayekti W., M.Si (081568455281)

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
Cu	29	41.01%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
O	8	33.40%	Chem. bindings	
Fe	26	10.93%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
S	16	9.89%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Si	14	1.87%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Ca	20	1.60%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Al	13	0.46%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Cl	17	0.25%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.22%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.13%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Ni	28	0.07%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
Ti	22	0.06%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
Mn	25	0.04%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Pb	82	0.02%	Fit spectrum	Pb LA1/EQ20
Sn	50	0.02%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
As	33	0.01%	Fit spectrum	As KA1/EQ20

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Girindra Abhilasa, yang akrab dengan panggilan Indra dilahirkan di Jakarta pada tanggal 2 Juli 1992. Merupakan anak terakhir dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh studi formal di SD Muhammadiyah 5 Jakarta, SMP Negeri 11 Jakarta dan SMA Negeri 90 Jakarta. Setelah menepuh sekolah, penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember mulai tahun 2010 dengan NRP 2710100096. Sejak masa sekolah penulis memiliki ketertarikan pada bidang sains dan ilmu eksak. Beberapa prestasi telah diperoleh saat masih duduk di bangku sekolah. Ketertarikannya berlanjut pada bidang kimia sehingga memutuskannya untuk mendalami bidang material dan metalurgi. Selain melanjutkan studinya, penulis juga aktif dalam organisasi intra kampus maupun ekstra kampus. Organisasi yang diikutinya adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS dan Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi dan Material se-Indonesia (PM3I). Penulis memilih organisasi yang berhubungan dengan material dan metalurgi karena ketertarikannya dalam bidang ini. Penulis juga ingin melihat bagaimana perkembangan bidang material dan metalurgi di Indonesia sehingga mengikuti organisasi ekstra kampus yaitu PM3I. Pada tahun ketiga, penulis telah memilih salah satu cabang bidang studi metalurgi ekstraksi dikarenakan oleh isu-isu tentang Undang-Undang Minerba No.4 tahun 2009 yang berisi larangan untuk pengimporan bahan mineral dan batu bara dalam bentuk mentah. Hal ini dianggap menjadi kesempatan yang sangat besar bagi penulis. Sewaktu kerja praktek, penulis memilih perusahaan PT. Newmont Nusa Tenggara sebagai tempat

awal belajar terjun langsung di dunia kerja. Di sana banyak hal yang dipelajari tentang pengolahan mineral yang harapan ke depan penulis negeri Indonesia dapat mengolah bahan mineral tambangnya sendiri. Hingga pada akhir tahun perkuliahan, penulis mengambil tugas akhir bidang metalurgi ekstraksi untuk mendalami lebih lanjut tentang bidang ini. Sehingga tugas akhir selesai dan harapan penulis dapat bermanfaat bagi bangsa Indonesia ke depannya.

Kontak : girindraabhilasa@gmail.com

Surabaya, 20 Juli 2014

Penulis